

Trabajo de Fin de Grado

Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Estudio de Viabilidad tecnológica y económica de
la aplicación de la energía eólica en el Circuito de Castellolí**

MEMORIA

Autor: Ramon Balaguer Vich

Director: Emilio Hernández Chiva

Convocatoria: Junio 2018



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

Los responsables del Circuito de Castellolí se han marcado como objetivo para un futuro próximo, una transformación que pretende combinar la excelencia tecnológica con unas instalaciones sostenibles capaces de ubicar al circuito como un referente en el mundo del motor.

Como consecuencia de la expansión que van a sufrir sus infraestructuras, es necesaria la búsqueda de nuevas vías capaces de abastecer de energía eléctrica a sus instalaciones de forma eficiente y limpia.

En esta memoria se presenta un estudio sobre la viabilidad tecnológica y económica para llevar a cabo la implantación de una instalación de producción de energía eólica en el Circuito de Castellolí.

A partir del análisis de la demanda energética de las instalaciones del complejo y de estudios que muestran el comportamiento del viento en la zona, va a buscarse la mejor solución para la aplicación del recurso eólico y se va a analizar la viabilidad y el impacto que supondría.

Sumario

Resumen	3
Sumario	4
1. Introducción.....	6
1.1. Objetivos del proyecto.....	6
1.2. Especificaciones del proyecto	6
1.3. Introducción a la Energía eólica	7
1.4. Situación Energía eólica España	8
2. Situación del Circuito de Castellolí	11
2.1. Emplazamiento	11
2.2. Infraestructuras del Circuito	13
2.3. Análisis energético de las infraestructuras	15
3. Estudio del recurso eólico	18
3.1. Caracterización del viento.....	18
3.1.1. Variación temporal.....	18
3.1.2. Variación en función de la altura	18
3.1.3. Variación en función de los obstáculos	20
3.2. Análisis del viento en el Circuito de Castellolí	21
3.2.1. Distribución del viento – Curva de Weibull	23
3.2.2. Estudio del recurso	23
4. Estudio del aerogenerador	29
4.1. Selección y caracterización de aerogeneradores.....	29
4.1.1. Criterio de selección	30
4.2. Descripción técnica y energética del aerogenerador escogido.....	32
4.3. Producción energética del aerogenerador escogido	35
4.4. Número de aerogeneradores necesarios	36
5. Estudio de almacenaje de energía	37
5.1. Selección y caracterización de baterías	37
6. Estudio de la instalación eólica.....	39
6.1. Ubicación de los aerogeneradores.....	39
6.2. Sistema eléctrico.....	40

6.3. Construcción de la infraestructura.....	41
7. Normativa aplicable.....	43
8. Impacto de la instalación eólica.....	45
8.1. Impacto visual.....	45
8.2. Impacto acústico.....	45
8.3. Impacto Energético.....	46
9. Estudio de viabilidad.....	47
9.1. Planificación temporal.....	47
9.2. Costes de Inversión.....	49
9.2.1. Aerogeneradores.....	49
9.2.2. Obra.....	49
9.2.3. Infraestructura eléctrica.....	50
9.2.4. Inversión final.....	51
9.3. Costes de explotación.....	51
9.4. Viabilidad económica.....	54
10. Conclusiones.....	57
11. Bibliografía.....	58

1. Introducción

1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es el de estudiar la posible implantación de una instalación de aerogeneradores para la producción de energía eólica en el Circuito de Castellolí.

Desde la dirección del Circuito se muestran preocupados por el enorme gasto que supone su consumo eléctrico y por el contrato actual que se tiene con la comercializadora eléctrica, en el que la potencia que se tiene contratada en algunos momentos no es suficiente para hacer frente a las necesidades de las instalaciones.

De esta forma, los gerentes del Circuito de Castellolí buscan una nueva vía con la que poder generar su propia electricidad y no depender de la Red eléctrica.

1.2. Especificaciones del proyecto

Las especificaciones marcadas por los responsables del Circuito para el proyecto son las siguientes:

- Poder cubrir el total de la demanda eléctrica para desvincularse de la Red eléctrica.
- Generar el mínimo Impacto en el entorno.
- Buscar la mejor solución en relación calidad-coste.
- Recuperar la inversión realizada y demostrar una viabilidad económica.



Figura 1.1: Entrada del Parcmotor Castellolí

1.3.Introducción a la Energía eólica

El origen de la energía eólica reside en el sol, fuente de energía sin la cual no entenderíamos la vida en nuestro planeta así como la vemos ahora.

El viento debe su formación a la energía solar que recibimos en forma de radiación. Al incidir sobre la superficie de la Tierra, se genera un aumento de la temperatura del aire de la atmósfera. Este incremento no es homogéneo, lo que produce una diferencia de temperaturas y, por tanto, de presiones. El aire más frío, tiende a desplazarse hacia abajo. Por su parte, el aire caliente, tiende a hacer todo lo contrario y ascender. Este fenómeno causa el movimiento de masas de aire, también conocido como viento.

Esas masas de aire, además, se ven afectadas en su trayectoria por el Efecto Coriolis. Se trata de una fuerza que se produce como consecuencia de la rotación de la Tierra en el espacio y que afecta a aquellos objetos situados por encima de la superficie del planeta. Dicha fuerza depende del radio respecto al centro de la tierra y de la velocidad relativa del objeto. Como consecuencia, el viento se ve afectado en velocidad y trayectoria, de manera más acentuada en el ecuador donde existe una mayor distancia al núcleo terrestre.

Al estar en movimiento, ese aire posee una energía cinética que ha sido motivo de explotación desde la antigüedad. Desde las embarcaciones a vela, pasando por el uso de molinos de viento para el bombeo de agua, el hombre ha tendido a aprovechar el viento para facilitar sus tareas del día a día.

Se trata de una fuente de energía limpia e inagotable, que desde los inicios del siglo XX ha sido utilizada para la producción de energía eléctrica mediante aerogeneradores. Esto se consigue gracias al movimiento producido en unas hélices por medio del viento. Mediante un sistema mecánico, se consigue transmitir la rotación hasta el rotor de un generador que es donde realmente se genera la energía eléctrica.

En la última década, la inversión destinada a explotar la energía eólica y a construir parques eólicos ha ido en aumento. Tal y como puede verse reflejado en la *Figura 1.2*, se ha pasado de tener 93.924 MW de potencia instalados en 2007 a 539.123 MW de potencia instalados en 2017, convirtiéndose en una importante fuente de generación de energía a nivel mundial.

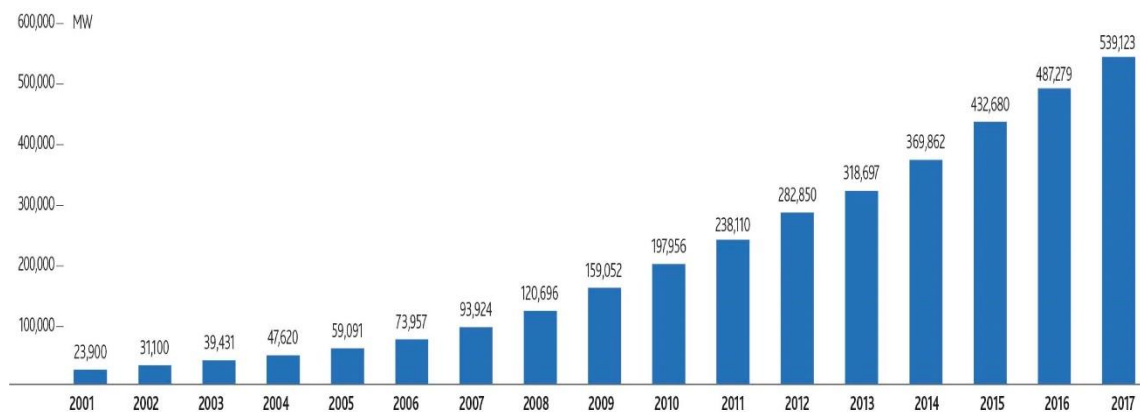


Figura 1.2: Potencia eólica instalada acumulada en el mundo. 2001-2017 (GWEC) [1]

1.4. Situación Energía eólica España

A nivel de potencia instalada, España se sitúa en el quinto lugar a nivel mundial representando un 4% de la potencia total instalada al finalizar el 2017 con 23.092 MW, solo por detrás de países como China, Estados Unidos, Alemania e India. Tal es su importancia, que la producción energética anual del pasado año fue de 47.896 GWh y se consiguió dar una cobertura de la demanda de energía eléctrica del 18,2%, situándose como la segunda tecnología del sistema eléctrico.

Aun así, estos datos contrastan de forma acentuada si miramos cual fue la potencia nueva instalada solamente en ese año. Durante dicho periodo se instalaron solamente 96 MW frente a los 16.803 MW del total instalado en el conjunto de Europa. Si nos fijamos en cual ha sido la evolución en los últimos años, puede verse que desde el año 2013, el número de parques eólicos construidos ha disminuido de manera considerable, frenando así la inversión comenzada a finales de los 90. Este hecho se debe en gran medida a la entrada en vigor durante el 2015 de una normativa con la que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica, y que complica en ciertos aspectos la implantación de nuevas instalaciones de energía solar fotovoltaica y energía eólica.

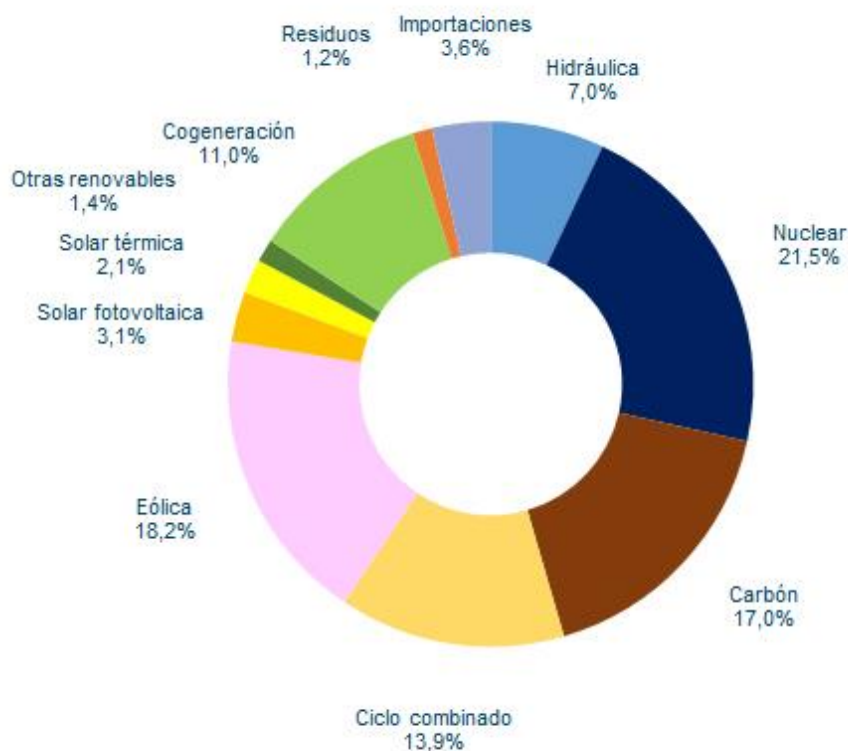


Figura 1.3: Cobertura de la demanda eléctrica en España en 2017 (AEE) [2]

Al revisar cual es la situación en Catalunya, se pueden observar unos datos muy similares a los del conjunto de España. Con 1267 MW de potencia instalada, la comunidad autónoma se sitúa como el sexto territorio en materia de generación eólica con un 5,49% del total. Pese a esto, durante el pasado año la potencia que se instaló fue nula.

Actualmente, el número de parques eólicos presentes en Catalunya es de 46, con un total de 810 de aerogeneradores repartidos por el territorio. Como aparece en la *Tabla 1.1*, la zona con mayor potencia instalada es Tarragona con un 60% del total catalán. Si se mira cual es el número de aerogeneradores de la misma zona (540) y su peso respecto al total (67%), puede observarse una pequeña dispersión que ya hace indicar que las condiciones para la generación de energía no son las mismas para toda la geografía.

Provincia	Potencia Instalada (MW)	Nº Aerogeneradores
Tarragona	762,95 (60%)	540 (67%)
Lleida	327,6 (26%)	164 (20%)
Barcelona	132,5 (10%)	84 (10%)
Lleida y Tarragona	44 (3%)	22 (3%)
Total	1267,05	810

Tabla 1.1: Potencia eólica instalada en Catalunya por territorio (AEE) [2]

En la siguiente figura, puede observarse cuál es la distribución de los diferentes parques eólicos instalados en Catalunya. Sus posiciones están concentrada principalmente en la frontera que separa Lleida de Tarragona y Barcelona, una de las zonas donde el viento tiene una mayor velocidad y por tanto, consigue generar una mayor producción de energía. Girona, por su parte, en la actualidad no posee ningún parque instalado.



Figura 1.4: Parques eólicos instalados en Catalunya (AEE) [2]

2. Situación del Circuito de Castellolí

En este apartado se va a presentar la situación actual del Circuito de Castellolí, el lugar que va a ser objeto del Estudio de Viabilidad tecnológica y económica de la aplicación de la energía eólica.

Impulsado por la Federación Catalana de Motociclismo, en el año 2002 se inauguraron las primeras instalaciones del Parcmotor Castellolí, un complejo deportivo de gran polivalencia en el mundo del motor que ha ido diversificándose y evolucionando con el paso de los años hasta convertirse en un referente a nivel internacional.

En marzo del 2009, se finalizaron las obras de lo que actualmente se conoce como el Circuito del Parcmotor Castellolí, un circuito de velocidad de 4.144 m de longitud que es objeto de realización de múltiples competiciones y tests de vehículos del motor.

El Parcmotor Castellolí ocupa una superficie de 100 hectáreas, de las cuales 2,5 ha forman parte del Karting Parcmotor Castellolí y otras 2,5 ha pertenecen a Fast Parcmotor, un centro de formación para la conducción. Estas 5 ha son gestionadas por sociedades ajenas a Gestió Parcmotor Castellolí SL, la empresa promotora de este proyecto y que se encarga de la explotación del Circuito de velocidad, el Circuito de Motocross y el Área de Trial.

Por tanto, este proyecto tendrá como perímetro de estudio las 95 hectáreas controladas por Gestió Parcmotor Castellolí SL. Para no causar confusión y redundancia en los términos, a partir de este punto va a hablarse del Circuito de Castellolí como del total de las infraestructuras e instalaciones que se explotan en esa superficie de terreno.

Además, es importante mencionar la situación de expansión en la que se encuentra actualmente el Circuito de Castellolí, en el que se han proyectado la construcción de nuevas instalaciones para complementar a las ya existentes y que deberán tenerse en cuenta a la hora de tener unas previsiones energéticas de cara al futuro.

2.1. Emplazamiento

Tal y como puede observarse en la *Figura 2.1*, el circuito de Castellolí se sitúa en la comarca de Anoia, a unos 50 km de Barcelona. Forma parte del término municipal de Castellolí y sus coordenadas son 41°35'22.0"N - 1°41'13.8"E.

Se trata de una zona montañosa, con una elevación de unos 360 m sobre el nivel del mar y con una espesa vegetación en sus alrededores. Como podrá verse más adelante, es de especial importancia estudiar correctamente el entorno cercano para poder explotar al máximo la capacidad eólica del terreno disponible.



Figura 2.1: Ubicación Circuito Castellolí (IGN) [3]

A continuación se presenta dos imágenes ampliadas de las 100 hectáreas que forman el complejo del Parcmotor Castellolí y que están ocupadas en su mayoría por el circuito de velocidad. En la primera de ellas pueden verse los límites de las parcelas que conforman ese terreno. En la segunda figura puede verse una imagen satélite del complejo.

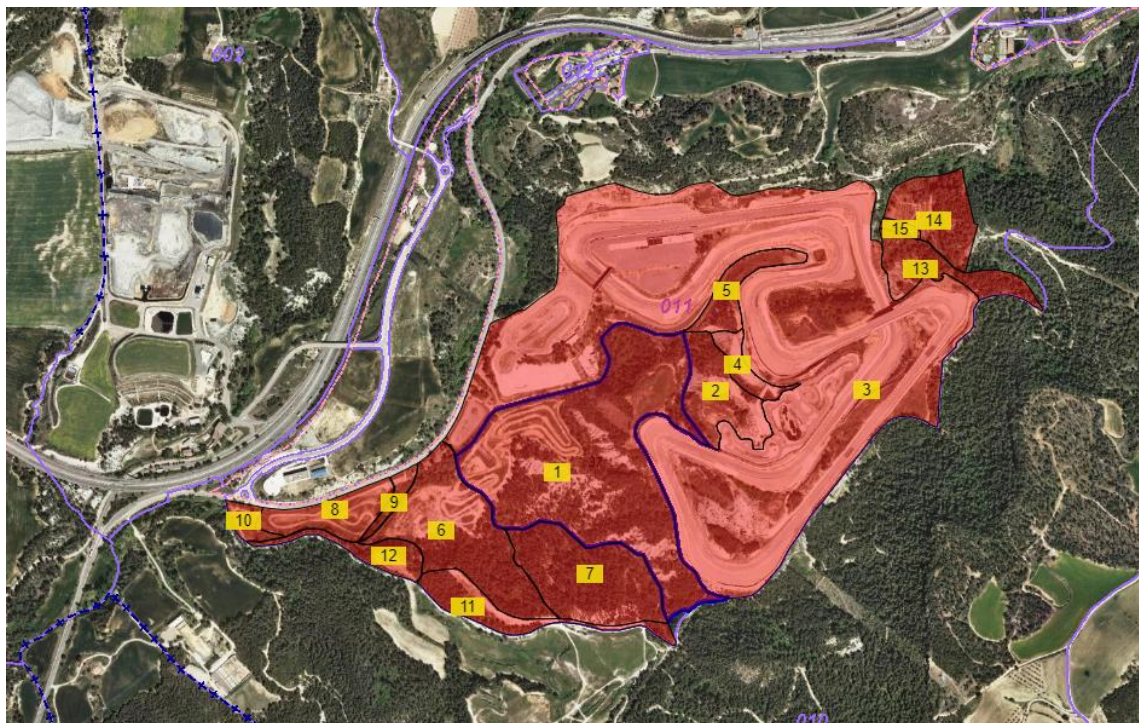


Figura 2.2: Parcelas del complejo Parcmotor Castellolí [4]



Figura 2.3: Ubicación Circuito Castellolí (IGN) [3]

2.2. Infraestructuras del Circuito

Para poder realizar un estudio energético del Circuito de Castellolí, es necesario conocer cuáles son las infraestructuras con demanda energética que existen y que son gestionadas por Gestió Parcmotor Castellolí SL. Se trata principalmente de tres grupos:

Oficinas Parcmotor + Caseta

Consta de dos casetas prefabricadas de distinto tamaño, destinadas a tareas de oficina.



Figura 2.4: Oficinas del Circuito de Castellolí

Bar Parcmotor

Se trata de una instalación destinada al uso hostelero.



Figura 2.5: Bar del Circuito de Castellolí

Boxes + Paddock

Es la infraestructura de mayor dimensión y también la que más consumo eléctrico genera. Su uso está destinado a los usuarios y a los vehículos que hacen uso del Circuito de velocidad

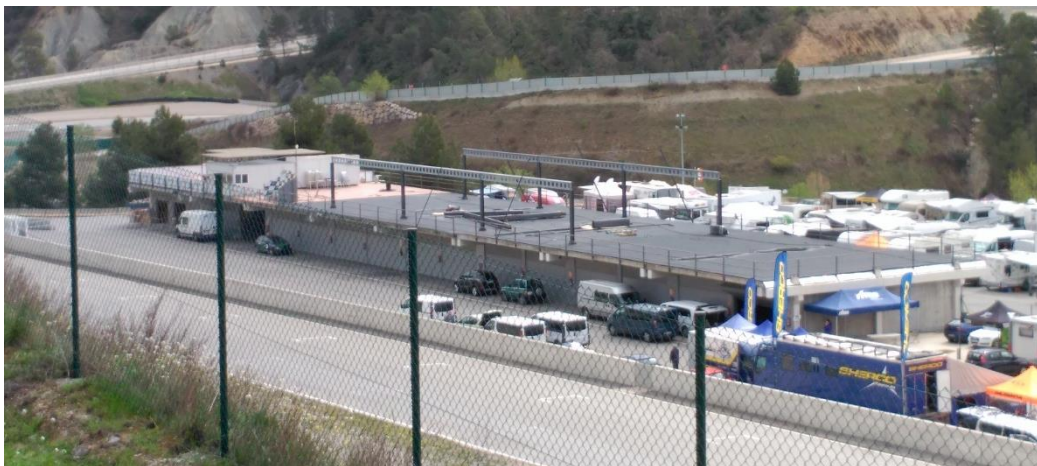


Figura 2.6: Boxes del Circuito de Castellolí

2.3. Análisis energético de las infraestructuras

A continuación, se procederá a estudiar cual es el consumo mensual y anual de las instalaciones del Circuito de Castellolí. Con ello, va a ser posible determinar el volumen de energía eólica que es necesario producir con los aerogeneradores que se prevén instalar.

Para calcular el consumo de energía procedente de la red eléctrica, la empresa Gestió Parcmotor Castellolí SL ha facilitado una serie de facturas comprendidas entre el 28/02/2017 y el 28/03/2018. Con ellas, se va a poder visibilizar cuales son los datos más importantes de cara al estudio.

Tal y como puede verse en la *Figura 2.7*, los datos de consumo son muy dispares según el periodo del año. Los factores meteorológicos, las horas de luz y el calendario de eventos desarrollados en el Circuito, van a marcar las la energía consumida en cada periodo. Es por ello, que en el estudio va a trabajarse con el total de energía consumida a lo largo del año. A la hora de realizar los cálculos de generación de energía eólica, también va a hablarse de cifras anuales.

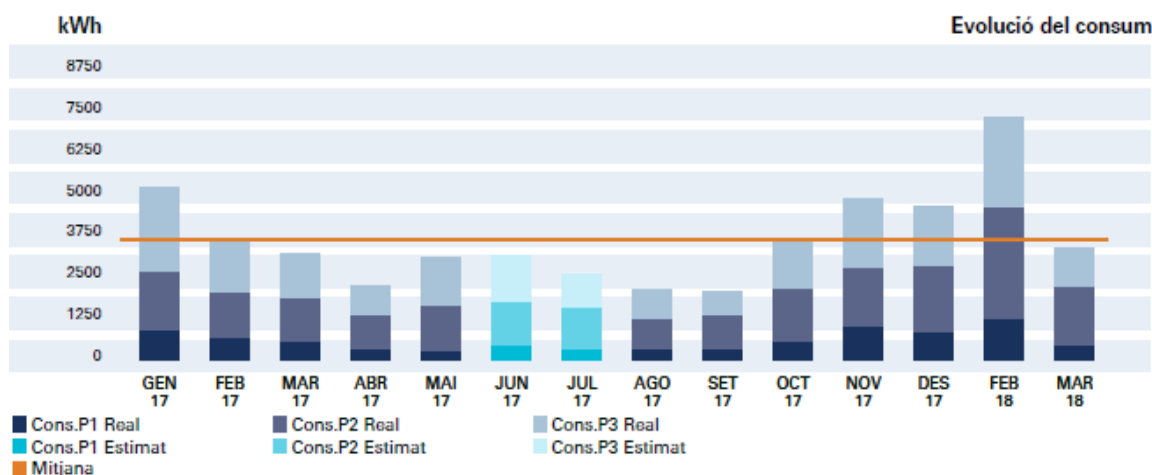


Figura 2.7: Evolución del consumo eléctrico

El consumo total producido en el último año ha sido de 42.670 kWh.

Puede apreciarse que el consumo de cada uno de los meses está representado por tres datos distintos. Este hecho se debe a que actualmente en el Circuito de Castellolí se tiene una potencia contratada de 17 kW y por tanto, al superar 15kW, le corresponde una tarifa de acceso 3.0A. Este hecho implica que la factura de la luz que se recibe cada mes viene determinada por el consumo de energía realizado en diferentes franjas horarias del día y épocas del año.

Dichas franjas se conocen como periodos horarios y se clasifican en:

- Periodo Punta: Es el periodo con precio más elevado y abarca 4 horas diarias.
- Periodo Llano: Tiene 12 horas diarias y es el periodo intermedio a nivel de precio.
- Periodo Valle: Abarca 8 horas en horario nocturno. Este corresponde al periodo más económico a nivel de precio.

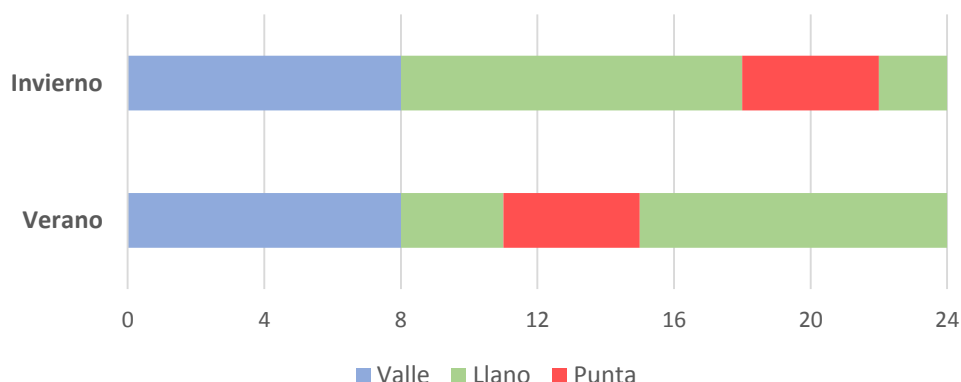


Figura 2.8: Periodos de discriminación horaria por hora

Para unas instalaciones del calibre del Circuito de Castellolí, en que las actividades de motor son realizadas en función de las necesidades de los acontecimientos y de quien los organiza, el hecho de pagar en función de la hora del día puede afectar en algunos casos de manera negativa en el precio final de que se deberá abonar.

Tal y como puede verse en la *Figura 2.9*, las facturas mensuales de electricidad ascienden a un precio bastante elevado y eso motiva a querer desarrollar un estudio que pueda combatir dichos gastos.

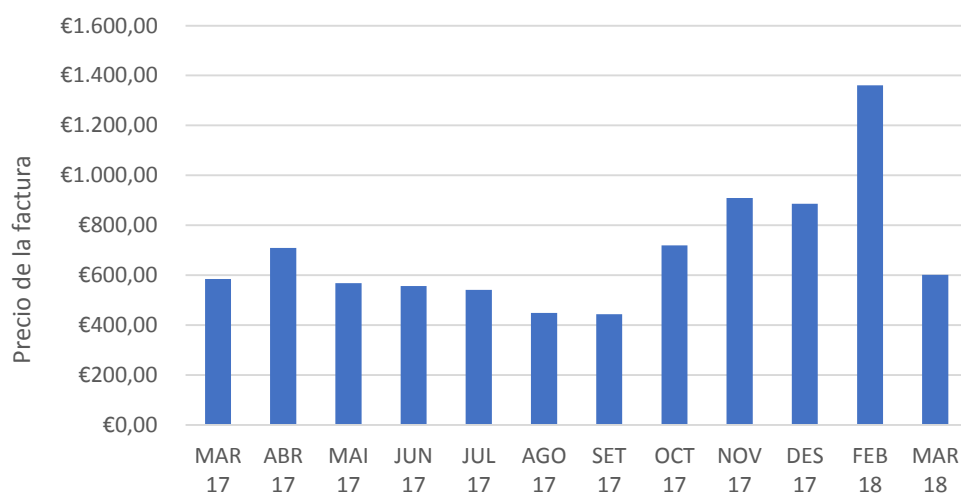


Figura 2.9: Precio de las facturas de electricidad en el último año

El total de las facturas pagadas en el último año asciende a 8327,32€.

Además del precio pagado por la energía consumida, cabe destacar otras características del actual contrato eléctrico que se tiene en el Circuito de Castellolí y que afectan al precio del recibo final.

- Al disponer de una potencia superior 15kW, existe un maxímetro que calcula los picos de potencia y que puede suponer penalizaciones para el usuario que sobrepasen la potencia contratada.
- Al tener un consumo de energía reactiva superior al 33% de la energía activa, el consumidor paga 0,041554 €/kVArh.
- Peajes de acceso en función de la potencia contratada.
- Costes de comercialización en función de la potencia contratada.
- Impuesto de electricidad.
- Alquiler de equipos de medida y control.

Debido a la existencia de estos múltiples costes existentes en el contrato y a los costes que supondría una instalación de energía eólica conectada a la Red eléctrica, que van a ser explicados en el apartado de Normativa, desde el Circuito de Castellolí se quiere buscar una solución que pase por la desvinculación total de la Red.

3. Estudio del recurso eólico

En este apartado va a estudiarse como se caracteriza el viento y cuáles son las singularidades existentes en los terrenos del Circuito de Castellolí. También se va a analizar cuál es su potencial para la generación de energía eólica.

3.1. Caracterización del viento

3.1.1. Variación temporal

Uno de los primeros factores que hay que tener en cuenta a la hora de trabajar con el viento es la variabilidad temporal que sufre a diversas escalas.

En el global del año, el viento sufre diferencias de comportamiento en función de las variaciones de temperatura y de horas de sol que se producen en las diferentes estaciones. Este hecho viene motivado por la órbita que describe la tierra alrededor del sol y hace variar tanto la densidad del viento como su velocidad

A una escala más reducida, en términos diarios, el viento varía en función de las horas del día. En la mayoría de las localizaciones, tiene más fuerza durante el día que durante la noche, cuando las diferencias de temperatura son mayores.

Debido a estas circunstancias, en el proyecto va a trabajarse con unos datos de viento y de generación anuales, para así poder omitir las variaciones que se producen.

3.1.2. Variación en función de la altura

Hay que tener en cuenta que el perfil de velocidades que sigue el viento con la altura no es constante. Se trata de un fluido y como consecuencia, la rugosidad que existe en la superficie afecta de la siguiente forma. La velocidad del viento es menor a medida que nos acercamos al suelo y se va incrementando en alturas más elevadas. Además, tal y como aparece en la *Figura 3.1* el perfil de velocidad de viento se pronuncia más en función de la rugosidad existente.

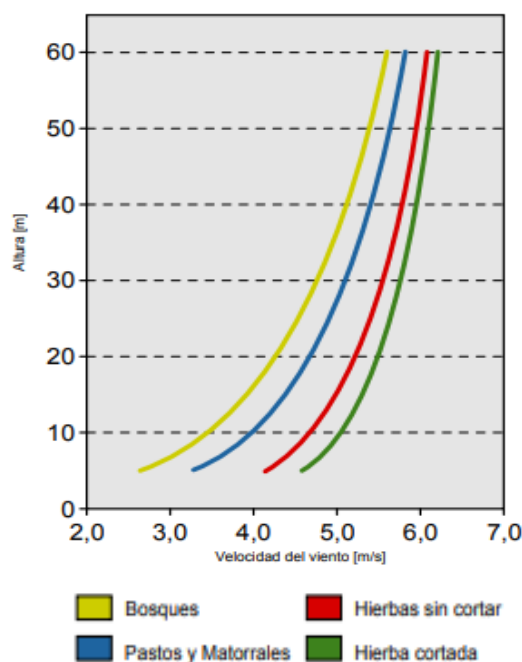


Figura 3.1: Ejemplo de perfil de velocidades en función de la altura y de distintas rugosidades [5]

Este perfil de velocidad del viento sigue una distribución logarítmica en función de la rugosidad del suelo. Dicho comportamiento sigue la siguiente función:

$$v = v_0 \times \left(\frac{h}{h_0} \right)^\alpha$$

Ecuación 3.1: Velocidad del viento en función de la altura

$$\alpha = \frac{1}{\ln \left(\frac{h}{\beta} \right)}$$

Ecuación 3.2: Coeficiente de Hellman's en función de la rugosidad y la altura

Donde:

v_0 : velocidad del viento a la altura de referencia (m/s)

h : la altura del buje (m)

h_0 : la altura donde se han tomado la velocidad (m)

α : coeficiente de Hellman's

β : rugosidad del terreno, en este caso 0,15

Esta función va a ser usada más adelante para el cálculo de la velocidad del viento a diferentes alturas.

3.1.3. Variación en función de los obstáculos

Los accidentes del terreno suaves como colinas o vaguadas influyen positivamente en la aceleración local del viento. Por ejemplo, una colina de pendiente suave acelera el viento a lo largo de la pendiente dándose la máxima velocidad en la cima de la loma. En cambio, un accidente abrupto disipa la energía del viento debido a las turbulencias generadas.

También los obstáculos generan variación en el perfil de velocidades del viento. En la mayoría de casos los obstáculos son edificios y árboles que desvían el viento y producen turbulencias, por lo que deben ser tenidos en cuenta y evitados al buscar la mejor ubicación. En el caso de zonas donde hay obstáculos porosos como árboles, caso que se da en el circuito de Castellolí, es recomendable instalar los aerogeneradores a una distancia significativa de ellos.

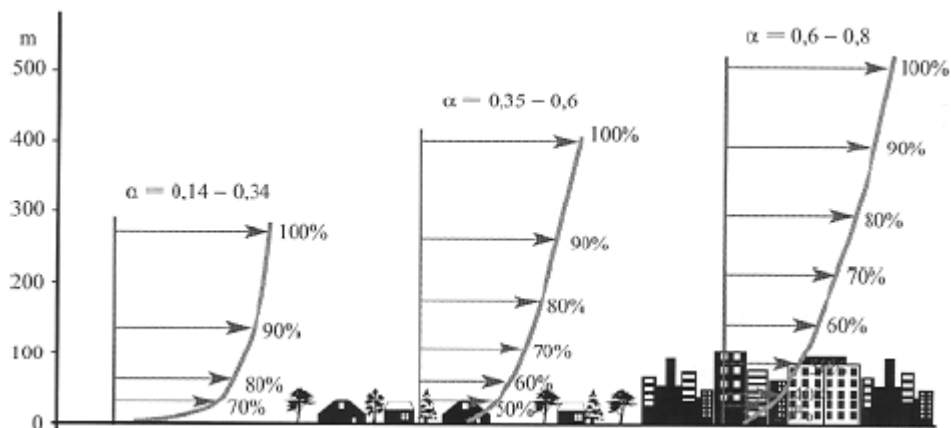


Figura 3.2: Perfil vertical de velocidades en función de los obstáculos [5]

La conclusión extraíble hasta el momento es que de cara a obtener una mayor generación de energía, va a interesar que la altura de los aerogeneradores sea la mayor posible. Aun así, habrá que tener en cuenta factores como el impacto visual y ambiental que pueden restringir esta idea.

3.2. Análisis del viento en el Circuito de Castellolí

En este apartado va a estudiarse cuales son las características del viento presentes en el Circuito de Castellolí y en sus alrededores. En primer lugar, se realizará un pequeño análisis de la situación del viento en el territorio catalán.

Tal y como se puede ver en el siguientes Mapa eólicos de Catalunya (*Figura 3.3*), las zonas donde se produce una mayor velocidad del viento son en el mar, donde la rugosidad es despreciable y donde no hay variación por presencia de obstáculos en dentro del recorrido que siguen las masas de aire.

En la zona Sur, ya en territorio terrestre, también existe un importante potencial para la generación eólica. Es una zona donde las velocidades medias alcanzan entre 6m/s y 8 m/s. Este hecho confirma la distribución que siguen los parques eólicos en Catalunya, vista anteriormente.



Figura 3.3: Mapa de velocidad Media Anual (IDAE) [6]

La energía cinética que poseen esas masas de aire varía en función de la velocidad y de su densidad. Si se conocen estas variables y su variación temporal, es posible desarrollar un mapa que muestre la densidad de potencia eólica disponible, es decir la potencia que se es capaz de generar en función del área de barrido del rotor del aerogenerador.

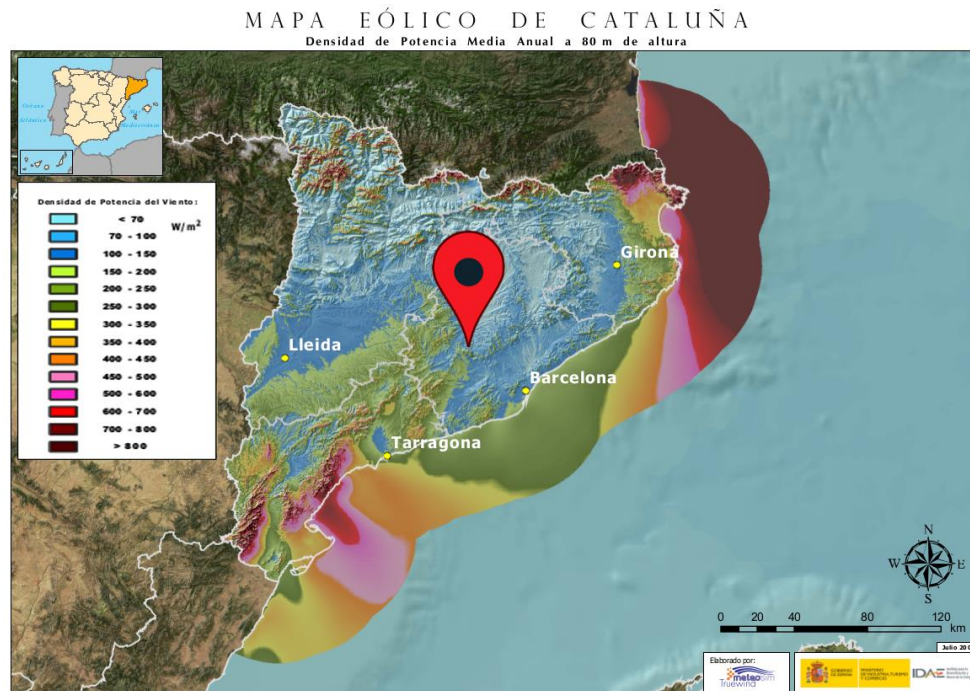


Figura 3.4: Mapa de densidad de Potencia Eólica (IDAE) [6]

En lo que refiere al complejo motor de Castellolí, se encuentra en una zona donde la velocidad media del viento no es de las más elevadas del territorio catalán. De hecho, debido a su emplazamiento entre dos colinas, se ubica en una especie de “oasis” que hace disminuir los valores en comparación a los de entornos cercano. Por tanto, es de especial importancia calcular correctamente cual es la generación eléctrica que se va a producir.

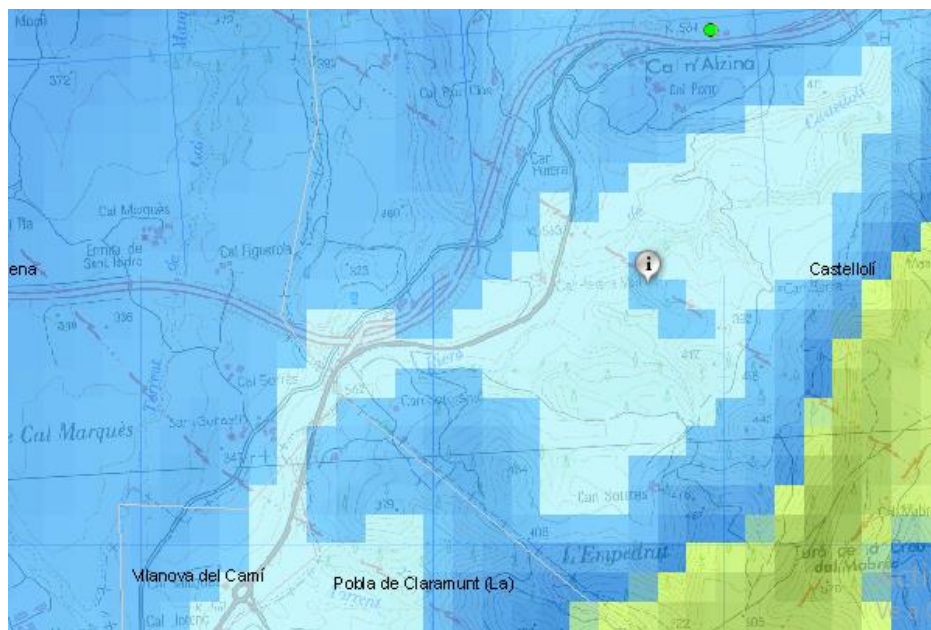


Figura 3.5: Mapa de viento del Circuito de Castellolí [6]

3.2.1. Distribución del viento – Curva de Weibull

Para poder realizar un análisis concreto de la situación del viento en Castellolí, es necesario utilizar un modelo de distribución del recurso eólico que tenga en cuenta la variación de las velocidades a lo largo del tiempo.

El modelo escogido será el conocido como Curva de Weibull. Se trata de una distribución estadística que muestra la densidad de probabilidad de que el viento adquiera un valor de velocidad concreto. Viene definida por la siguiente función:

$$f(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Ecuación 3.3: Función de la distribución de Weibull

Esta función es válida para valores de velocidad iguales o mayores que cero.

Donde:

v: Velocidad media del viento (m/s)

k: parámetro de forma adimensional

c: parámetro de escala (m/s). Está relacionado con la velocidad media

Tanto los valores de k como de c vendrán marcados por el comportamiento del viento en la zona estudiada.

Para poder definir la Curva de Weibull, sería conveniente el haber hecho un estudio de medición del viento previo. En este proyecto, van a utilizarse unos datos proporcionados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), en el que se proporcionan un mapa eólico con datos del viento.

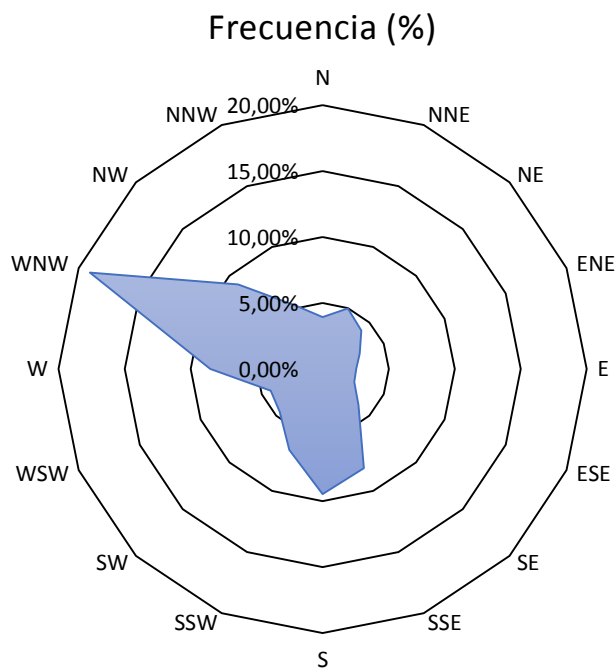
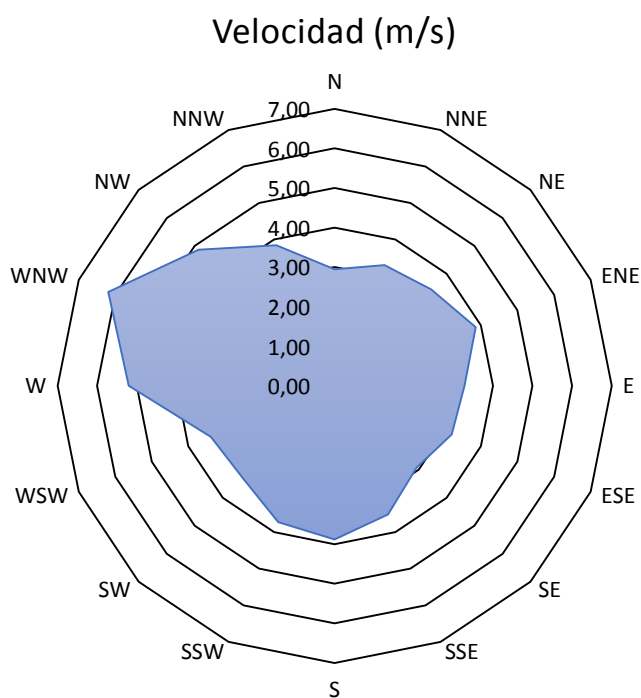
3.2.2. Estudio del recurso

A continuación, se proporciona una tabla con las frecuencias, velocidades del viento y potencia eólica en función de la dirección, así como los parámetros c y k para describir la curva de Weibull. Dichos datos corresponden a una altura de 80 m.

Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K
N	3,93	2,95	1,13	3,40	2,14
NNE	4,98	3,30	1,78	3,76	2,36
NE	4,13	3,45	1,92	3,96	2,09
ENE	3,04	3,86	2,34	4,42	1,79
E	2,53	3,28	1,30	3,80	1,73
ESE	2,59	3,20	1,19	3,74	1,81
SE	3,83	2,92	0,93	3,28	2,29
SSE	8,13	3,52	3,07	3,93	2,69
S	9,48	3,88	4,50	4,24	2,66
SSW	6,62	3,72	3,33	4,20	2,33
SW	4,59	3,29	1,92	3,75	1,98
WSW	4,26	3,39	1,69	3,86	2,29
W	8,53	5,20	12,98	5,99	2,23
WNW	19,09	6,19	47,02	7,10	2,30
NW	9,06	4,87	11,34	5,57	2,16
NNW	5,19	3,85	3,55	4,56	2,17

Tabla 3.1: Datos direccionales del viento a 80 m de altura

Para poder distinguir con más claridad cuál es la dirección dominante del viento, se han realizado dos diagramas, conocidos como Rosa de los vientos, en el que se muestran las direcciones principales del viento en función de su frecuencia y de su velocidad media.

*Figura 3.6: Rosa de frecuencias del viento**Figura 3.7: Rosa de velocidades del viento*

Tal y como puede observarse, la dirección principal del viento en la zona, tanto en frecuencia como en velocidad media, es la WNW, conocida con el nombre de Oesnoroeste. Este dato va a ser clave para definir la ubicación de los generadores y evitar obstáculos que disminuyan su rendimiento.

Par finalmente poder graficar la curva de Weibull, se van a utilizar los parámetros c y k proporcionados por el IDAE a diferentes alturas y con una rugosidad de 0,15 m. Para su obtención, se ha elegido el punto del terreno que proporcionara una mayor velocidad y que además es viable para la instalación de aerogeneradores ya que en zonas como el calzado del circuito es obvio que no podrán colocarse. De esta forma, los parámetros de Weibull c y k van a extrapolarse mediante una regresión logarítmica y polinómica respectivamente a la altura que interese. En cuanto a la velocidad media, se va a calcular mediante la *Ecuación 3.1*, con la que es capaz de determinarse la velocidad del viento en función de la altura.

Altura (m)	30	60	80	100
Velocidad (m/s)	3,120	3,720	3,980	4,190
Weibull C (m/s)	3,630	4,260	4,540	4,770
Weibull K	2,144	2,058	1,984	1,912

Tabla 3.2: Parámetros de Weibull a distintas alturas

En este proyecto, van a realizarse los cálculos para una altura de 18 m. Se trata de un valor muy común entre los fabricantes de aerogeneradores domésticos como podrá verse más adelante.

Así pues, para una altura de 18 m, se obtienen unos parámetros de Weibull:

$$v = 3,1053 \text{ m/s}$$

$$c = 3,1414 \text{ m/s}$$

$$k = 2,1754$$

Si se aplica la *Ecuación 3.3* de distribución de Weibull, se obtienen las siguientes probabilidades mostradas en la *Tabla 3.3* para cada valor unitario de velocidad del viento. Además, si se multiplica esa probabilidad por el total de horas que hay a lo largo de un año (8760 h), puede calcularse el total de horas anuales en que soplara el viento a cada velocidad.

Velocidad a 18 m (m/s)	Probabilidad	Horas/año
1	0,166	1454
2	0,280	2454
3	0,265	2326
4	0,169	1485
5	0,077	671
6	0,025	218
7	0,006	51
8	0,001	9
9	0,000	1
10	0,000	0
11	0,000	0
12	0,000	0
13	0,000	0
14	0,000	0
15	0,000	0
16	0,000	0

Tabla 3.3: Probabilidad del viento para 18 m de altura

Al graficar estos resultados se obtiene la Curva de Weibull.

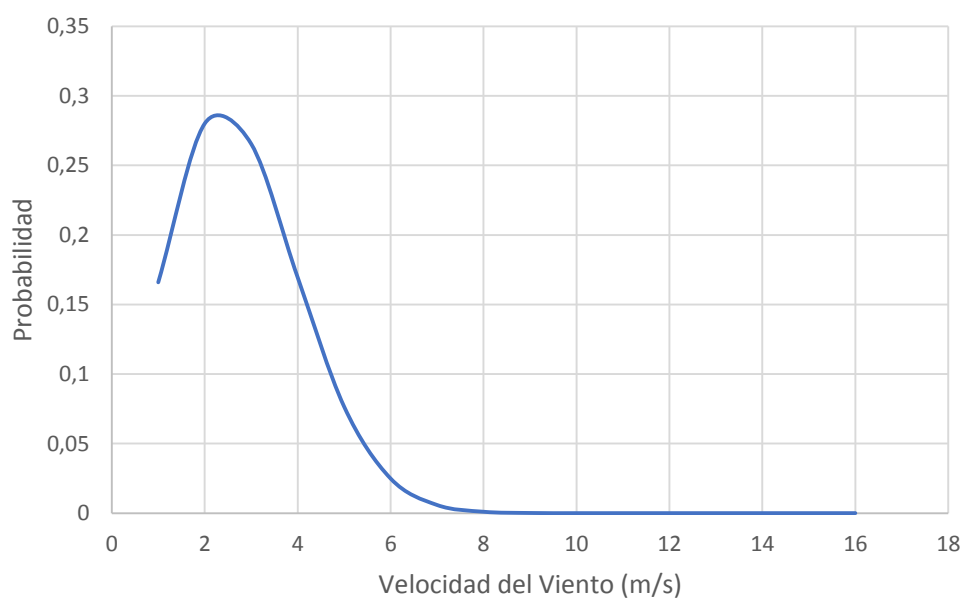


Figura 3.8: Curva de Weibull a 18 m de altura

Si se analizan los datos de horas anuales en función del viento, se obtiene el siguiente gráfico con el que más adelante va a poderse realizar el cálculo de potencia generada por los diferentes aerogeneradores.

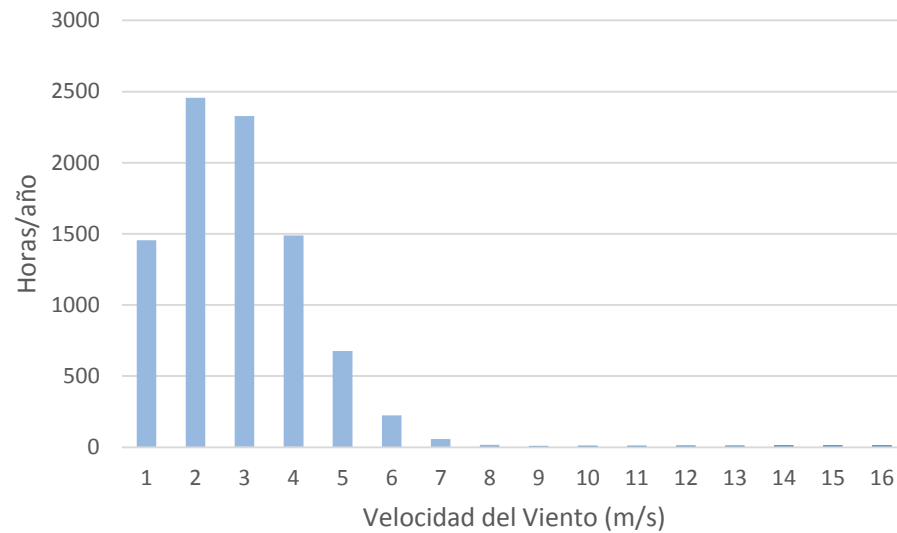


Figura 3.9: Horas anuales de viento por velocidad

4. Estudio del aerogenerador

En este apartado va a realizarse un estudio de las opciones existentes en el mercado en cuanto a aerogeneradores. Para realizar su elección, van a tenerse en cuenta una serie de requisitos y especificaciones para tratar de garantizar el éxito del proyecto.

4.1. Selección y caracterización de aerogeneradores

Una vez conocida la información del viento en el Circuito de Castellolí, es necesario proceder a calcular cual será la producción de energía que pueda desarrollarse en el emplazamiento. Para ello, es necesario conocer el aerogenerador que va a instalarse y cuál es su capacidad de generación.

Para realizar esta tarea, se ha hecho una búsqueda en el mercado de los aerogeneradores domésticos más utilizados en la actualidad. En primer lugar, se ha partido de un catálogo realizado por un organismo de la Comisión Europea conocido como IEE (Intelligent Energy – Europe [7]) en el que se proponen una serie de aerogeneradores que actualmente son utilizados por particulares. Por otro lado, se ha estudiado el mercado actual de fabricantes de aerogeneradores en España, debido a su mayor facilidad a la hora de establecer un contacto y de disminuir costes en transportes si se decidiera comprar alguno de sus dispositivos.

En el *Anexo A*, se presentan las fichas técnicas de cada uno de los aerogeneradores estudiados. También se presentan sus respectivas curvas de potencia, necesarias para poder calcular la generación energética que producirían. Cuando se habla de la curva de potencia de aerogenerador, se refiere a un gráfico generado a partir de medidas realizadas en campo, en el que se indica cuál va a ser la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador para diferentes velocidades del viento.

A continuación, va a presentarse una tabla con los diferentes aerogeneradores seleccionados, en ella se muestra cual es la generación energética que tendría cada uno de ellos si se instalara en el Circuito de Castellolí a una altura de 18 m. Para la realización de estos cálculos, se ha usado las respectivas curvas de potencia presentadas en el *Anexo A* para cada uno de los modelos y se ha multiplicado por las horas de viento existentes para cada velocidad (*Figura 3.9*). Este número de horas, han sido calculadas con anterioridad a partir de la Curva de Weibull. Además, también se muestra el precio que tiene cada uno de los aerogeneradores.

Aerogenerador	Producción (kWh)	Precio (€)
AIRCON 10	4848,19	30000
Eoltec Sirocco 5	318,61	12000
Eoltec W. Runner 25	5120,11	38600
Fortis Montana 5,6	1082,65	17900
Fortis Alize 10	1841,07	30700
Gaia - Wind 11	5065,91	69300
Iskra 5	1688,90	31900
Jonica Impianti 20	3143,01	13000
Bornay Wind 13+	555,03	3540
Bornay Wind 25.2	1010,84	4895
Bornay Wind 25.3	1052,50	8650
Enair E70 PRO	1105,74	7800
Enair E200	6724,01	58750

Tabla 4.1: Precio y producción energética anual de los aerogeneradores

4.1.1. Criterio de selección

Par poder escoger cual es el aerogenerador que va a tener una mayor garantía de éxito dentro del emplazamiento escogido y con relación a las especificaciones marcadas para el proyecto, se van a establecer unos criterios de selección. Estos son:

- **Criterio de producción:** Se busca un aerogenerador con una importante generación de energía eólica y así poder satisfacer las necesidades del Circuito con el menor número de dispositivos.
- **Criterio económico:** Es importante comparar la producción generada con el precio del aerogenerador y establecer una relación de precio/producción.
- **Criterio de empresa fabricante:** Se priorizarán fabricantes nacionales debido a su cercanía y al ahorro en transportes.

- Al haber escogido unos aerogeneradores de dimensiones muy similares, no van a tenerse en cuenta criterios de peso ni de tamaño y va a considerarse que su impacto es el mismo en todos ellos.

En la *Figura 4.1* se muestra un gráfico de dispersión en el que se compara *producción anual vs precio del aerogenerador*.

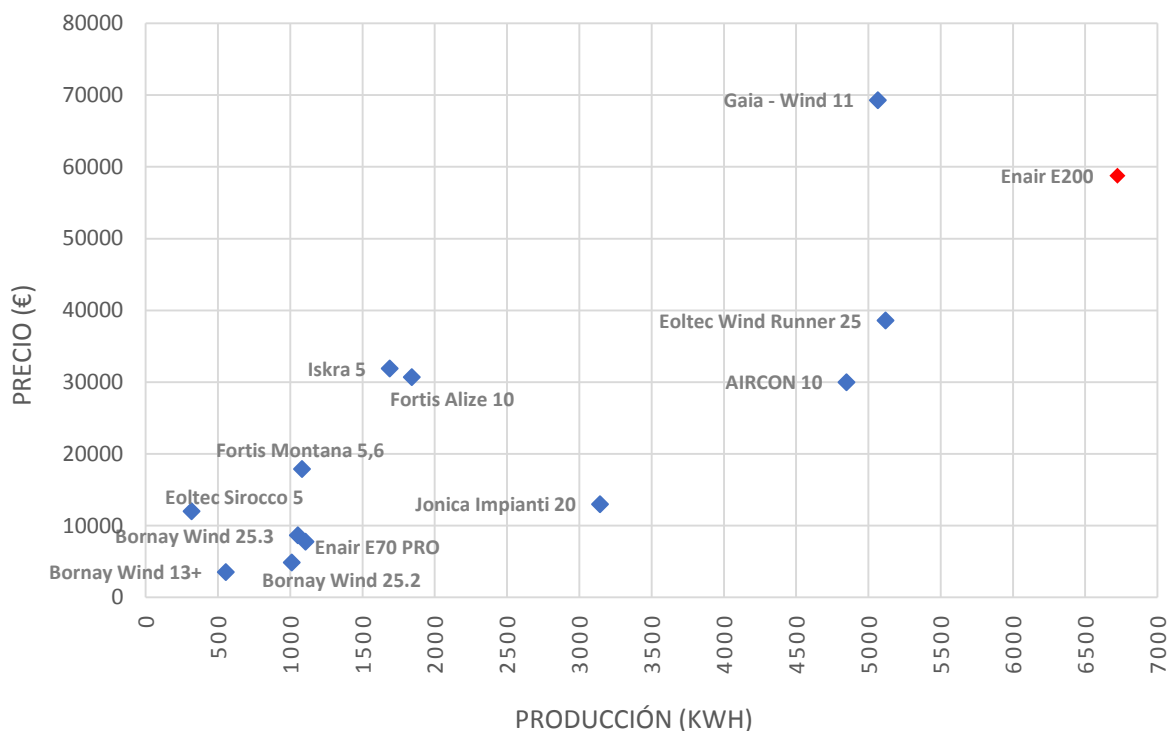


Figura 4.1: Comparación de aerogeneradores Precio vs Producción anual

La primera criba realizada ha ido en función de la producción del aerogenerador en el emplazamiento. Aquellos modelos con una producción baja no podrán hacer frente a las necesidades del Circuito en términos de autoabastecimiento. En segundo lugar, se ha analizado el precio de cada uno de los aerogeneradores en comparación con esa producción.

Finalmente se ha decidido que el aerogenerador más adecuado para instalar es el modelo **E200** del fabricante español **Enair**.

4.2. Descripción técnica y energética del aerogenerador escogido

En este apartado, van a presentarse los detalles técnicos más importantes del aerogenerador escogido, el Enair E200. Su ficha técnica completa, se muestra en el *Anexo C*.

Se trata de un aerogenerador fabricado en la provincia de Alicante por el fabricante *Enair Energy S.L.*, una empresa de peso en sector y que ha obtenido el certificado de calidad ISO 9001:2008. Este aerogenerador ha sido diseñado para cubrir las demandas energéticas de pequeñas industrias donde se tienen unas instalaciones eléctricas trifásicas. Gracias a su diseño optimizado de las palas y a la posibilidad de modificar el ángulo de inclinación que forman, es posible generar energía a partir de velocidades reducidas de viento, circunstancia que se da en el Circuito de Castellolí.



Figura 4.2: Aerogenerador Enair E200 [8]

A continuación, se presenta una tabla con algunas de las características del aerogenerador.

CARACTERISTICAS POTENCIA		CONDICIONES DE TRABAJO	
Potencia nominal (kW)	18	Temperatura mínima (°C)	
Velocidad nominal (m/s)	12	Temperatura máxima (°C)	
Velocidad de arranque (m/s)	1,85	OTROS DATOS	
Velocidad máxima soportable (m/s)	30	Voltaje de salida (V)	500
DIMENSIONS		Niveles acústicos a 20m (dB)	
Peso (kg)	1000	Vida útil	
Diámetro rotor (m)	9,8	Tipo de Turbina	Eje horizontal
Superficie de barrido (m2)	75,43	COSTES	
Altura de la torre (m)	18	Precio (€)	58750
ASPAS			
Numero de aspas	3		
Material	Fibra de vidrio		

Tabla 4.2: Tabla de características del aerogenerador

La curva de potencia del aerogenerador Enair E200 es la de la *Figura 4.3*.

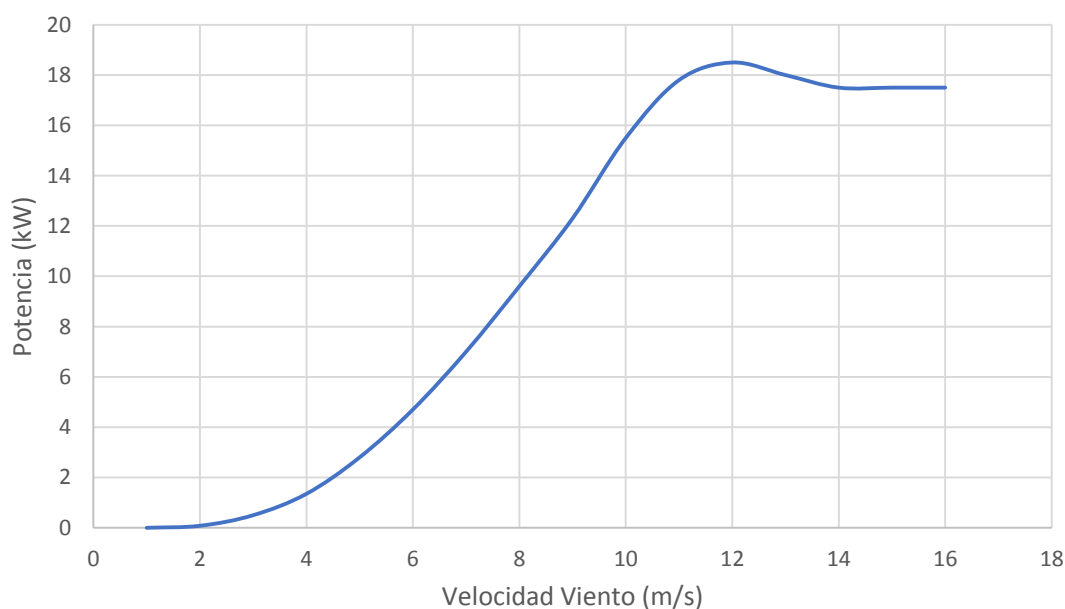


Figura 4.3: Curva de potencia del aerogenerador

El aerogenerador dispone de múltiples componentes que es necesario conocer para poder entender su funcionamiento y establecer un plan de mantenimiento para el futuro. Esta información, es proporcionada por el fabricante Enair y es la siguiente [8]:

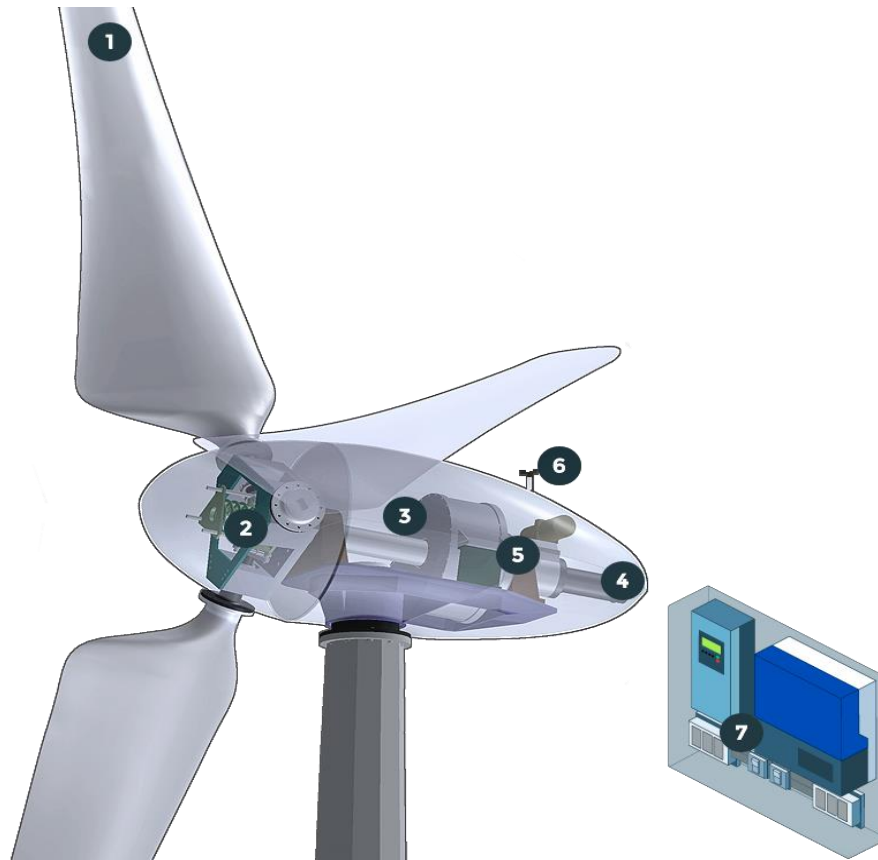


Figura 4.4: Componentes del aerogenerador [8]

1. **Palas del aerogenerador:** Perfiles optimizados a base de simulaciones en CFD y fabricadas con los últimos compuestos de resinas basadas en uretano acrílico y epoxi en combinación con fibras de vidrio y carbono compuestas.
2. **Paso variable de palas:** Sistema patentado de paso variable activo con seguridad pasiva. Este sistema ofrece un control exacto de la posición de las palas electrónicamente y además se protege automáticamente en caso fallo.
3. **Generador:** Generador de imanes permanentes de 40 polos, 20KW de potencia nominal a 120 Rpm y 1500Nm, que proporciona un rendimiento energético de alto nivel.
4. **Hidráulico:** Sistema hidráulico basado en un sensor de posición altamente preciso que nos determinará la posición de palas según los algoritmos de control.
5. **Góndola:** Estructura de acero donde se sujetan los diferentes componentes y la cual soporta todas las cargas establecidas en la Norma IEC 61400-2.

6. **Anemómetro:** Sensor de viento necesario para la toma de decisiones sobre el comportamiento del Aerogenerador, con tal de mejorar su productividad y seguridad.
7. **Sistema de Control e Inversor:** Más de 600 parámetros de control y nos permite customizar la máquina para adaptarla al lugar de instalación. Además, maximiza el rendimiento extraído del generador con algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia.

4.3. Producción energética del aerogenerador escogido

Para saber cuál es el número de aerogeneradores que se deben instalar para hacer frente a las necesidades energéticas, en primer lugar debe calcularse la producción anual de nuestro aerogenerador.

En la *Tabla 4.3* se presentan los datos detallados que han servido para calcular el total de kWh que serían producidos en el periodo de un año. Puede observarse que el total de energía producida es el mismo que se ha visto anteriormente en la *Figura 4.1*.

Velocidad del viento (m/s)	Potencia (kW)	Frecuencia	Horas/año	kWh/año
1	0	0,17	1453,99	0,00
2	0,08	0,28	2453,57	196,29
3	0,5	0,27	2325,60	1162,80
4	1,35	0,17	1484,78	2004,46
5	2,8	0,08	670,69	1877,93
6	4,7	0,02	218,02	1024,70
7	7	0,01	51,29	359,06
8	9,6	0,00	8,74	83,92
9	12,3	0,00	1,08	13,26
10	15,5	0,00	0,10	1,49
11	17,8	0,00	0,01	0,11
12	18,5	0,00	0,00	0,01
13	18	0,00	0,00	0,00
14	17,5	0,00	0,00	0,00
15	17,5	0,00	0,00	0,00
16	17,5	0,00	0,00	0,00
			TOTAL	6724,01

Tabla 4.3: Producción anual del aerogenerador

En condiciones normales, si se instalara el Enair E200 en el Circuito de Castellolí, produciría una energía aproximada de 6724 kWh.

4.4. Número de aerogeneradores necesarios

Los 6.742 kWh de energía capaces de generar por el aerogenerador no son suficientes para satisfacer las necesidades totales de la demanda existente en el Circuito de Castellolí. Es necesario instalar un mayor número de dispositivos que puedan hacerle frente.

Para realizar el cálculo es necesario conocer el consumo anual de las instalaciones. Tal y como se ha visto anteriormente, este valor es de 42.670 kWh. Además, debido a las nuevas infraestructuras que se están construyendo en el complejo, va a suponerse que la demanda en el futuro será un 40% superior a la actual. Por tanto, los aerogeneradores instalados deberán ser capaces de producir una cantidad de energía de $140\% \times 42.670 \text{ kWh} = 59.738 \text{ kWh}$.

Así, el número de aerogeneradores necesarios será de:

$$n^{\circ} \text{ aerogeneradores} = \frac{\text{producción aerogenerador}}{\text{demanda anual}} = \frac{6742 \text{ kWh}}{59738 \text{ kWh}} = 8,9 \cong 9 \text{ unidades}$$

Ecuación 4.1: Número de aerogeneradores necesarios

Se trata de un número considerable de aerogeneradores si se tiene en cuenta que no van a utilizarse para la venta de energía a la Red eléctrica. Aun así, debido a la enorme cantidad de espacio que existe en el Circuito de Castellolí, su instalación es perfectamente posible a expensas de estudiar su viabilidad económica.

5. Estudio de almacenaje de energía

Al tratarse de una instalación pensada para el autoabastecimiento, es necesario realizar un estudio de cuál va a ser la forma en que se va a almacenar la energía consumida a posteriori de su generación. En este caso, va a estudiarse la posibilidad de implantar un conjunto de baterías que reciban la energía de los aerogeneradores y luego la provean a la red del circuito.

Conexión aislada

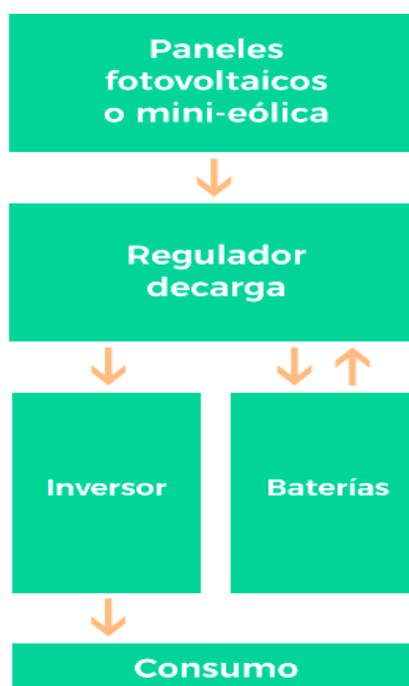


Figura 5.1: Baterías dentro de la instalación eléctrica [9]

5.1. Selección y caracterización de baterías

Debido a la variabilidad del viento se van a buscar unas baterías que sean capaces de almacenar la demanda energética que se produce durante 2 días en las instalaciones. De esta forma si se produjeran dos días en que las palas del aerogenerador no roten en ningún instante, algo poco probable, podría seguir proporcionándose electricidad a la infraestructura del Circuito y tener una autonomía suficiente.

Para calcular el dimensionamiento de las baterías, van a utilizarse los datos de consumo energético y el voltaje que suministran los aerogeneradores a través del inversor que lleva acoplado. El voltaje de salida será de 48V, un valor muy común en el mercado de las baterías. A continuación, se va a calcular la capacidad de carga necesaria para el banco de baterías que va a utilizarse, se trata de una magnitud que junto al voltaje sirve

para caracterizarlas. Van a tenerse en cuenta unas posibles pérdidas del 15% debido a su rendimiento y a las temperaturas que se llegan a alcanzar.

$$\text{Capacidad de carga} = \frac{\text{Demanda energética}}{\text{Voltaje suministrado aerogenerador}} \times 115\%$$

Ecuación 5.1: Capacidad de carga necesaria para las baterías

$$\text{Demanda energética} = 2 \text{ días} \times \frac{59.738 \text{ kWh}}{\text{año}} \times \frac{\text{año}}{365 \text{ días}} = 327 \text{ kWh}$$

Ecuación 5.2: Demanda energética del circuito para dos días

$$\text{Capacidad de carga} = \frac{327 \text{ kWh}}{48 \text{ V}} \times 115\% = 7833,8 \text{ Ah}$$

Se ha realizado una búsqueda en el mercado de baterías y se ha considerado que la más adecuada podría ser la Batería TAB 48V 650Ah 4 TOPzS 500, una batería estacionaria de gran eficiencia y larga durabilidad.

Será necesario conectar varias de estas baterías en paralelo para poder llegar a los 7833,8 Ah de capacidad. Por tanto, se van a precisar de un total de 12 baterías que aportarán una capacidad total de 7800 Ah, una cifra ligeramente inferior a los cálculos realizados pero que se puede considerarse despreciable.



Figura 5.2: Batería TAB de 48V y 650Ah [10]

6. Estudio de la instalación eólica

6.1. Ubicación de los aerogeneradores

El emplazamiento en que van a ubicarse los aerogeneradores es muy importante de cara a evitar obstáculos que puedan hacer variar el perfil de velocidad del viento. Va a buscarse un terreno libre de árboles, con espacio suficiente para el levantamiento de la infraestructura eólica, cercano a la red eléctrica del circuito y con facilidad de acceso para las operaciones de instalación de toda la infraestructura.

Al precisar de un conjunto de 9 aerogeneradores, se ha decidido que la ubicación se divida en dos parcelas distintas. Se trata de una zona cercana al circuito de velocidad y bastante despejada en lo que respecta a vegetación.

Tal y como se ve en la *Figura 6.1*, la distancia que separa una parcela de la otra es reducida. Esto supone que no habrá un incremento en los costes para realizar la conexión de los dispositivos con el resto de la instalación eléctrica. Por otro lado, también cabe la posibilidad de realizar una intervención en el tramo que separa las dos parcelas y así unificarlas para obtener una superficie mayor y una mejora en la facilidad para desarrollar las acciones de actuación en los aerogeneradores.



Figura 6.1: Ubicación de los aerogeneradores

6.2. Sistema eléctrico

Hasta el momento se ha analizado el conjunto de baterías y el aerogenerador más idóneos. Para llevar a cabo el proyecto con éxito, es necesario también estudiar cual va a ser el sistema eléctrico de la instalación.

Al ser el Circuito de Castellolí, un complejo que precisa de energía eléctrica en diversas instalaciones alejadas unas de otras, y además, también alejadas de la ubicación presentada para los aerogeneradores, va a ser necesario un sistema de conexión para toda la red.

Por otro lado, al tener una instalación trifásica de 400V y 50Hz, se precisará de tres inversores que adecuen el voltaje producido por el banco de baterías de 48V. Se debe tener en cuenta que, al aumentar el voltaje, la intensidad que va a circular por el cableado va a ser menor. Este hecho debe tenerse presente a la hora de dimensionar el cableado con que se realicen las conexiones. El caso opuesto se dará en la conexión entre el inversor ubicado en el cuadro del aerogenerador y las baterías, por donde la corriente que circulará va a ser elevada.

En la siguiente figura se muestra el esquema eléctrico de la instalación.

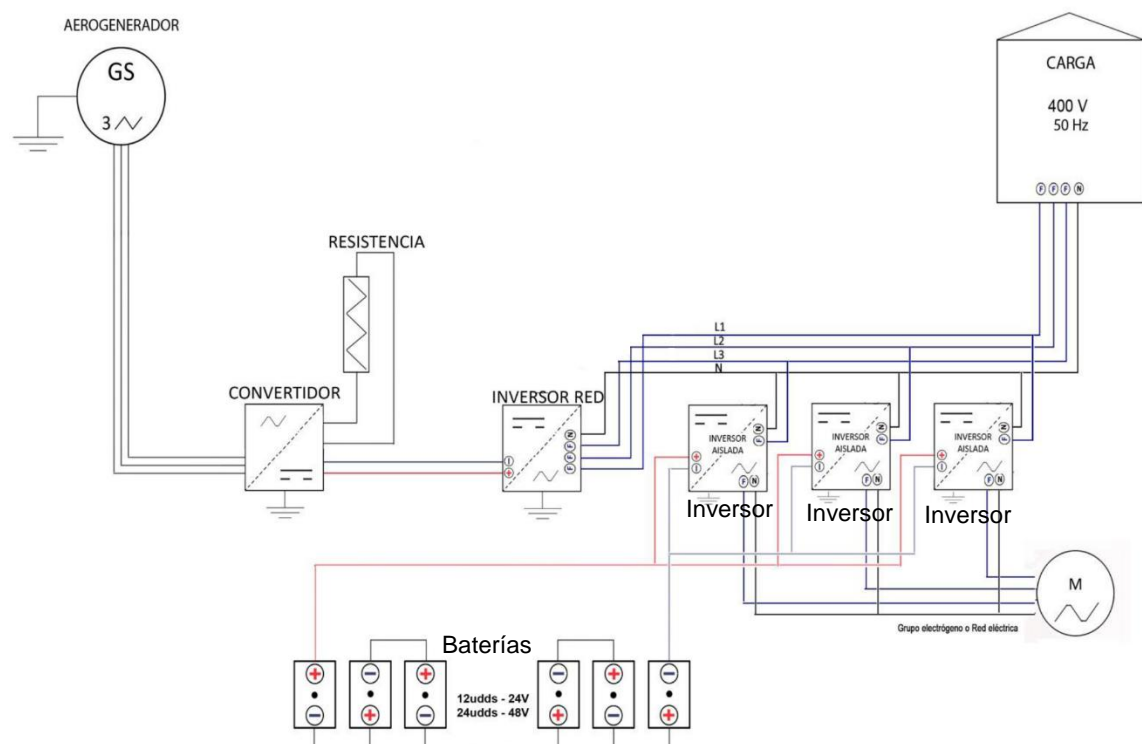


Figura 6.2: Esquema eléctrico de la instalación eólica [8]

De los elementos que aparecen en el esquema eléctrico, el fabricante del aerogenerador proporciona dicho componente más el convertidor, la resistencia de frenado y el inversor de red. El resto de equipamiento que figura, deberá ser adquirido de forma independiente.

Es conveniente mencionar que el generador eléctrico que figura conectado a los inversores, no es necesario comprarlo, pues en el Circuito de Castellolí ya se dispone de varios.

En cuanto a las baterías, como ya se ha visto en el apartado 5. *Estudio de almacenaje de energía*, va a precisarse de un banco de 12 baterías TAB 48V 650Ah conectadas en paralelo.

6.3. Construcción de la infraestructura

Al tratarse de un proyecto en el que van a instalarse 9 aerogeneradores de 18 m de altura y un peso considerable, se debe plantear claramente los procesos de Ingeniería Civil a realizar y que van a servir luego para calcular la inversión en esta faceta y para realizar una previsión del tiempo necesario. Se estima que los recursos humanos necesarios para llevar todo a cabo, va a ser de 5 técnico-operarios.

Las etapas de levantamiento e instalación de los aerogeneradores que presenta el fabricante de los dispositivos, sumado a las etapas a realizar debido al estado que presenta el emplazamiento, son los siguientes:

1. Acondicionamiento de los terrenos

Se van a realizar tareas de acondicionamiento de las superficies cercanas al lugar de levantamiento de los aerogeneradores. Al tratarse de unas parcelas semirrurales, es necesario la eliminación de vegetación y regularización de posibles caminos de acceso.

2. Realización de agujeros para la cimentación

Se deben realizar las tareas de excavación en el lugar donde se colocará la torre del aerogenerador. El agujero medio para torres de 18m consta de unas dimensiones de 3x3x3 metros de altura y se recomienda hacer un hormigón de limpieza y armar hormigón para darle más fuerza.

Será necesario el disponer de una excavadora.

3. Colocación del primer tramo de torre

Estando el agujero hecho, se debe colocar el tubo de cableado e insertar el primer tramo de la torre para poder echar el hormigón posteriormente. Se recomienda hormigón rápido y que vaya mínimamente armado para mayor solidez.

Será necesario el disponer de una grúa.

4. Dejar fraguar la cimentación

En función del tipo de hormigón utilizado se puede demorar desde 48 horas hasta 2 semanas el tiempo de solidificación de la cimentación. Se trata de una etapa que va a suponer un incremento de tiempo en la planificación temporal del proyecto.

5. Montar la torre sobre el tramo uno

Una vez la cimentación haya secado, puede procederse a montar la torre completamente sobre el tramo cimentado.

Será necesaria una grúa estándar que pueda levantar la pluma hasta una altura de 18 y con una capacidad de carga de 2400 kilos.

6. Montar las palas sobre su estructura de embalaje

La estructura de embalaje con la cual se trasporta el Aerogenerador está preparada para utilizarse como base de montaje. Colocando el Aerogenerador sobre la misma, con la grúa se van montando primero las palas de la parte inferior y luego la pala superior.

Será necesaria la ayuda de una grúa.

7. Elevar e instalar el aerogenerador en la torre

Estando las palas montadas, se eleva el aerogenerador completo hasta la altura donde va a ser instalado y se procede a su atornillamiento.

Será necesaria una grúa y una plataforma elevadora

8. Instalación eléctrica

Una vez realizada la instalación de los aerogeneradores, se procede a realizar la instalación del circuito eléctrico que conectará los armarios de la base de los dispositivos eólicos con las baterías de almacenaje y con la instalación eléctrica del Circuito de Castellolí.

7. Normativa aplicable

En este apartado se procederá a detallar la normativa que puede ser motivo de aplicación para la construcción y explotación de instalaciones de generación de energía eólica.

En primer lugar, se va a estudiar el **Real Decreto 900/2015**, de 9 de octubre de año 2015, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. Dicho decreto tiene por objeto el establecimiento de las condiciones administrativas, técnicas y económicas para las modalidades de autoconsumo de energía eléctrica.

En lo que respecta a este proyecto, este decreto no sería aplicable debido a la idea de desconexión de la Red eléctrica. Tal y como dice la normativa: *Se exceptúa de la aplicación del presente real decreto a las instalaciones aisladas y los grupos de generación utilizados exclusivamente en caso de una interrupción de alimentación de energía eléctrica de la red eléctrica de acuerdo con las definiciones del artículo 100 del Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.* [11]

En todo caso, se trata de una normativa importante que podría afectar a la instalación eólica si finalmente no se realizara una desconexión total de la red. Por tanto, va estudiarse de manera simple en que podría afectar.

Todas las instalaciones de autoconsumo deben inscribirse en el registro correspondiente, así como firmar un contrato de acceso con la comercializadora. Este hecho complica en cierta manera toda la burocracia que se deberá realizar y los periodos de tiempo del proyecto se van a ver alargados.

La potencia máxima instalada, es decir, la potencia de total del conjunto de aerogeneradores no podrá superar la potencia contratada (en este caso de 17kW). Es lógico pensar que no interesa verse afectado por este Decreto, cuando la potencia que se tiene pensado instalar con el proyecto es superior.

Se deberán hacer frente a unos peajes de acceso a las redes de aplicación a las modalidades de autoconsumo según lo establecido en el Real Decreto 1164/2001. A modo de resumen, esto significa que por el aporte de energía a la red, se deberán para unos costes al igual que sucedía en la factura actual de electricidad del Circuito de Castellolí.

Además, se presentan los siguientes cargos:

- Cargos asociados a los costes del sistema eléctrico.

A los consumidores acogidos a cualquiera de las modalidades de autoconsumo les resultarán de aplicación los cargos asociados a los costes del sistema que correspondan al punto de suministro y que se establezcan por Orden del Ministro de Industria, Energía y Turismo, previo acuerdo de la Comisión Delegada del Gobierno para Asuntos Económicos, de acuerdo con lo previsto en el artículo 16 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, teniendo en cuenta las particularidades previstas en este artículo. [11]

- Cargo por otros servicios del sistema.

Mediante orden del Ministro de Industria, Energía y Turismo, previo acuerdo de la Comisión Delegada del Gobierno para Asuntos Económicos, se determinará la cuantía correspondiente al cargo por otros servicios del sistema, que se define como el pago a realizar por la función de respaldo que el conjunto del sistema eléctrico realiza para posibilitar la aplicación del autoconsumo, conforme establece el artículo 9.3 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre.

La conclusión que puede extraerse del Real Decreto 900/2015 es que al proyecto de instalación eólica del Circuito de Castellolí, no le interesa seguir conectado a la Red eléctrica, aun cuando su vertido energético sea nulo. Si se decidiera optar por la alternativa contraria, los costes que se deberán afrontar serán superiores y la viabilidad económica se vería perjudicada.

Por otro lado, se va a analizar el contenido de la **Ley 16/2002**, de 28 de junio, de Protección contra la Contaminación Acústica. En ella se regulan las medidas necesarias para prevenir y corregir la contaminación acústica que afecta a las personas y al medio ambiente. Tal y como se indica, *quedan sometidos a la presente Ley cualquier infraestructura, instalación, maquinaria, actividad o comportamiento incluidos en los anexos que originen ruidos y vibraciones.* [12]

El Circuito de Castellolí se sitúa en un emplazamiento aislado de viviendas y de población, lógico al tratarse de un lugar dedicado a los deportes de motor en el que origina mucho ruido. Según la ley, se trata de una Zona de sensibilidad acústica baja. Aun así, es necesario verificar que el ruido generado por los aerogeneradores va a cumplir la normativa establecida.

Según la *Determinación de los niveles de evaluación de la inmisión sonora en el ambiente exterior producida por las actividades y el vecindario*, establecida en la presente Ley, los valores límite de inmisión para las instalaciones presentadas en el proyecto serán de 70 dB durante el día y de 60 dB durante la noche.

8. Impacto de la instalación eólica

8.1. Impacto visual

Tal y como se ha explicado en el apartado de ubicación de los aerogeneradores, estos se encuentran en una ladera, muy cerca de la pista del circuito. Se trata de un lugar alejado de los núcleos residenciales del municipio y solamente visible para las personas que estén ubicadas en el complejo Parcmotor Castellolí.

Si se tienen en cuenta estas observaciones, puede asegurarse que la instalación eólica solo tendrá un impacto visual para los trabajadores y los visitantes del Parcmotor. Por tanto, al entender que estos no van a ver los aerogeneradores como un impacto negativo, se asegura que su presencia es perfectamente viable visualmente.

8.2. Impacto acústico

La instalación de aerogeneradores es sinónimo de ruido en el entorno, una problemática que puede llegar a afectar a las personas y que por tanto es de gran relevancia. En los últimos años, los fabricantes han invertido y mejorado en el desarrollo de dispositivos que generen un impacto acústico y vibratorio mínimo.

El ruido de los aerogeneradores se produce por dos motivos principalmente:

- Ruido aerodinámico producido por la rotación de las aspas con el viento.
- Ruido producido por el generador y los sistemas de transmisión mecánicos.

A medida que la distancia respecto al aerogenerador aumenta, el ruido que se percibe es menor. Al situarse el Circuito de Castellolí en un emplazamiento alejado de casas y edificios, la percepción sonora que se va a tener por las personas ajenas a las instalaciones va a ser muy inferior a la recibida en los alrededores de la instalación.

Según especificaciones del fabricante, el nivel de ruido producido por el aerogenerador está en torno a un 1% por encima del ruido ambiente. Aunque no se trata de una magnitud concreta, es correcto indicar que la instalación proyectada cumpliría con la Ley 16/2002 de Protección contra la contaminación acústica comentada en el apartado 7. *Normativa*.

8.3. Impacto Energético

Desde el punto de vista medioambiental, el hecho de que el Circuito de Castellolí pueda autoabastecerse de energía generada a partir de recursos renovables, supone una reducción en las emisiones de CO₂ que se generan a partir del consumo de energía proveniente de la compañía eléctrica.

Ya desde la Unión europea se han marcado unos objetivos de cara al 2030 en que se pretende reducir un 40% las emisiones de gases de efecto invernadero y producir un 27% de la energía consumida a partir de fuentes renovables. Se trata de unos objetivos al alcance del proyecto y que harán revalorizar las instalaciones del Circuito de Castellolí.

A partir de la herramienta desarrollada por el *Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón*, se puede realizar de forma simple un cálculo del equivalente de CO₂ que supone un consumo anual de 59.738 kWh de electricidad. Se trata de aproximadamente 20.908 kg CO₂ que se conseguirá evitar que acaben emitidos a la atmósfera cada año si se lleva a cabo la implantación del proyecto.

9. Estudio de viabilidad

9.1. Planificación temporal

Una de las partes más importantes de todo proyecto es la de hacer unas previsiones temporales de los plazos de cada una de las etapas que van a ser necesaria para su desarrollo. En este apartado van a especificarse cuales son dichas etapas, la relación entre ellas y el tiempo necesario para concluir la implantación y puesta en marcha de la instalación eólica.

Las etapas de que consta el proyecto se han dividido en:

- Estudio del proyecto. Incluye las actividades y tareas desarrolladas para conseguir la realización de esta memoria.
- Presentación del proyecto a los responsables del Circuito y realización de modificaciones.
- Aspectos legales que incluirían una revisión más ajustada de la normativa y la petición de licencias de obra.
- Adquisición de los aerogeneradores y el resto de dispositivos eléctricos.
- Ingeniería civil. Incluye las obras de levantamiento de los aerogeneradores.
- Puesta en marcha de la instalación eólica.

Algunas de estas etapas dependerán de la previa finalización de otras, así que es necesario conocer la dependencia de unas y otras para no establecer la ejecución de dos actividades en paralelo si deben realizarse en serie. También se deben tener en cuenta los recursos existentes, que marcarán la capacidad máxima de poder ejecutar una etapa en el tiempo más rápido. Por ejemplo, si el levantamiento de un aerogenerador puede realizarse en un día, es lógico pensar que si no se realiza una contratación de más personal, el levantamiento de nueve aerogeneradores precisara de un tiempo mucho mayor.

A continuación, se presenta un diagrama con las previsiones temporales de las diferentes etapas del proyecto. Se trata de unos plazos que deberían cumplirse en condiciones normales, aunque podrían verse ligeramente modificados con la presentación de contratiempos o un aumento del rendimiento de los trabajadores durante el transcurso de las operaciones.

Actividad	Mar. 2018	Abr. 2018	May. 2018	Jun. 2018	Jul. 2018	Ago. 2018	Sep. 2018	Oct. 2018	Nov. 2018	Dic. 2018	Ene. 2019	Feb. 2019	Mar. 2019	Abr. 2019	May. 2019
1. Estudio del proyecto															
Estudio del Circuito de Castell.															
Estudio del recurso eólico															
Estudio de aerogeneradores															
Diseño del sistema eléctrico															
Estudio de la normativa															
2. Presentación del proyecto															
3. Aspectos legales															
Revisión de la normativa															
Obtención de licencias															
4. Adquisición de dispositivos															
5. Ingeniería civil															
Contratación de servicios															
Acondicionamiento terrenos															
Instalación aerogeneradores															
Instalación eléctrica															
6. Puesta en marcha															
Inicio del funcionamiento															
Programación mantenimiento															

Tabla 9.1: Planificación temporal del proyecto

9.2. Costes de Inversión

Para poder estudiar la viabilidad económica del proyecto, van a analizarse los costes que conllevan la implantación inicial del proyecto y las inversiones que se necesitarán realizar a lo largo del tiempo.

9.2.1. Aerogeneradores

La inversión más importante que se debe realizar en este proyecto es la adquisición de los aerogeneradores. Se trata de un paquete en el que vienen incluido tanto el aerogenerador, como la torre que lo sostiene y el inversor de red al que va a ir conectado.

El precio de este conjunto de elementos es de 58.750 € cada unidad. Al necesitar una cantidad de 8 aerogeneradores, la cifra que se debe desembolsar suma un total de 528.750 €.

9.2.2. Obra

Los costes de la ingeniería civil se desglosan en tres grupos:

- **Mano de obra**

Anteriormente se ha estimado que va a necesitarse el trabajo de 5 personas. Al asignarles unos trabajos por el periodo de tres meses, en los cuales no se va a trabajar a jornada completa cada día debido a los tiempos de paro que se producirán para el fraguado del hormigón y otras tareas, se calcula que deberá pagarse un total de 15.000€ en sueldos.

- **Alquiler de maquinaria**

En esta partida se incluyen los costes destinados al alquiler de la grúa, la excavadora y la maquina elevadora.

- **Material de obra**

Se estima que va a ser necesaria la inversión de unos 5000€ en la compra de material de obra tal como hormigón, acero etc.

9.2.3. Infraestructura eléctrica

Se trata de la partida que va a englobar todos los componentes eléctricos necesarios para el desarrollo del proyecto y que no venían incluidos en el paquete de los aerogeneradores, así como el coste necesario para su instalación. Esta inversión se divide de la forma siguiente:

- **Baterías**

Adquisición del banco de baterías TAB 48V 650Ah 4 TOPzS 500 que acumularán la energía producida mediante los aerogeneradores, por un valor de 4.487,65 €/unidad. Al ser necesarias un total de 12 baterías, la inversión a realizar es de 53.851,80 €. La duración aproximada de estos dispositivos es de unos 15 años. Por tanto, una vez superado ese tiempo, deberá realizarse una nueva inversión por el mismo valor.

- **Inversores**

Adquisición del paquete de tres inversores que convertirá la corriente continua proporcionada por las baterías en corriente alterna compatible con la red del Circuito. Tiene un coste por unidad de unos 1.100 €.

- **Cableado**

Incluye el cableado necesario para conectar los componentes de la instalación eléctrica con la red del Circuito. Se ha estimado que la inversión es de unos 1.500€. Se trata de una cifra aproximada que puede variar en mayor o menor medida en función de la ubicación de las baterías y de la dificultad para establecer las conexiones.

- **Instalación del sistema eléctrico**

Incluye las tareas de instalación y conexión del sistema eléctrico llevadas a cabo por un técnico. Se estima que será necesaria una inversión de 1.500€

9.2.4. Inversión final

A continuación, se presenta una tabla con todas las partidas de gastos a realizar en la inversión inicial. La suma total de los costes ascendería a una cantidad aproximada de 614.901,80 €.

Costes de Inversión			
Ámbito	Precio/und.	Unidades	Total ámbito
Equipos			587.401,80 €
Aerogenerador	58.750,00 €	9	528.750,00 €
Baterías	4.487,65 €	12	53.851,80 €
Inversores	1.100,00 €	3	3.300,00 €
Cableado	1.500,00 €	1	1.500,00 €
Obra Civil			24.000,00 €
Mano de obra (pers.)	3.000,00 €	5	15.000,00 €
Alquiler de maquinaria	4.000,00 €	1	4.000,00 €
Material de obra	5.000,00 €	1	5.000,00 €
Instalación sistema eléctrico	1.500,00 €	1	1.500,00 €
Varios	2.000,00 €	1	2.000,00 €
TOTAL			614.901,80 €

Tabla 9.2: Costes de inversión

9.3. Costes de explotación

Además de la inversión inicial, se va a tener que realizar una inversión para el mantenimiento y revisión de la instalación eólica. A continuación, se presenta una tabla con los periodos en que deben realizarse algunas de las acciones más importantes para conservar en buen estado los aerogeneradores y las baterías.

Acción	Periodo
Revisión del voltaje y la densidad de las baterías	Cada 6 meses.
Descarga completa de las baterías y revisión de la densidad	Cada 12 meses.
Revisión y reapriete de tornillos de palas eje de giro y torre.	Un mes después de la instalación.
Inspección visual (tanto del molino como de la torre), chequeo de ruidos anómalos y vibraciones.	Un mes después de la instalación y después de tormentas o vientos de más de 25 m/s.
1 - Comprobación del estado de las palas, especial atención al borde de ataque	Cada 12 meses.
2 - Reapriete de tornillos, eje de giro con torre.	
3 - Engrasado de rodamiento central y coronas del paso variable y giro.	
4 - Engrasado del conjunto del paso variable, actuador y finales de carrera.	
5 - Revisión de la central hidráulica de sus juntas, manguitos, nivel de aceite.	
6 - Comprobación de las conexiones eléctricas en la góndola y en las cajas de conexiones.	
7 - Reapriete de otros tornillos de la torre.	
8 - Cambiar aceite de la central hidráulica.	Cada 4 años.
9 - Sustitución de los manguitos de la bomba hidráulica.	Cada 4 años.

Tabla 9.3: Calendario de mantenimiento del aerogenerador

Conocidas todas las acciones a realizar tras la puesta en funcionamiento de la instalación, puede procederse a realizar una tabla con los costes aproximados que supondrá su mantenimiento. Va a desglosarse en una tabla que incluye unos costes de mantenimiento anuales y otra de costes cuatrienales, donde el gasto va a ser mayor debido a las acciones más complejas a realizar en los aerogeneradores.

Costes de explotación anuales	
Ámbito	Total ámbito
Mantenimiento baterías	200 €
Mantenimiento aerogeneradores	100 €
Revisión de la instalación	200 €
TOTAL	500 €

Tabla 9.4: Costes de explotación anuales

Costes de explotación cuatrienales	
Ámbito	Total ámbito
Mantenimiento aerogeneradores	900 €
TOTAL	900 €

Tabla 9.5: Costes de explotación cuatrienales

9.4. Viabilidad económica

Finalmente, se va a proceder a realizar el estudio de viabilidad económica sobre la aplicación de energía eólica en el Circuito de Castellolí. Se trata de una de las partes más importantes del proyecto, pues va a marcar su futuro.

En este apartado van a usarse los costes de inversión y de explotación vistos anteriormente, y que han sido establecidos para diferentes periodos de tiempo.

Para el cálculo de los “beneficios”, palabra un tanto impropia en este proyecto, es preciso calcular el ahorro anual que se va a tener en la factura de la electricidad. Para ello, van a recogerse los datos presentados en la *Figura 2.9*, en los que se establecía que el gasto anual sumaba 8327,32 €.

Al haberse establecido unos valores de producción de energía eólica un 40% superior al consumo actual del Circuito, el ahorro en la factura va a ser superior a esa cifra de 8327,32 €. En el cálculo del ahorro final que se tendrá con la producción de 59.738 kWh, van a despreciarse los costes de alquiler de equipos establecidos en la factura presentada en el *Anexo E*, los cuales son fijos y no se ven influidos por el consumo realizado. Así, mediante un cálculo aproximado, va a establecerse que el ahorro anual que se va a tener tras la implantación de la instalación eólica será de $8327,32 \text{ €} \times 140\% = 11.658,2 \text{ €}$.

A continuación, se presenta el estudio de viabilidad económica realizado para un periodo de tiempo de 20 años.

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro en factura de electricidad (€)		11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2
Costes de inversión (€)	614.901,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costes de explotación (€)	0,0	500,0	500,0	500,0	1.500,0	500,0	500,0	500,0	1.500,0	500,0	500,0
Total pagos (€)	614.901,8	500,0	500,0	500,0	1.500,0	500,0	500,0	500,0	1.500,0	500,0	500,0
Flujo tesorería (€)	-614.901,8	11.158,2	11.158,2	11.158,2	10.158,2	11.158,2	11.158,2	11.158,2	10.158,2	11.158,2	11.158,2
Flujo tesorería actualizado (€)	-614.902	-603.744	-592.585	-581.427	-571.269	-560.111	-548.952	-537.794	-527.636	-516.478	-505.319

Año	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ahorro en factura de electricidad (€)	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2	11.658,2
Costes de inversión (€)	0,0	0,0	0,0	0,0	53.851,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Costes de explotación (€)	500,0	1.500,0	500,0	500,0	500,0	1.500,0	500,0	500,0	500,0	1.500,0
Total pagos (€)	500,0	1.500,0	500,0	500,0	54.351,8	1.500,0	500,0	500,0	500,0	1.500,0
Flujo tesorería (€)	11.158,2	10.158,2	11.158,2	11.158,2	-42.693,6	10.158,2	11.158,2	11.158,2	11.158,2	10.158,2
Flujo tesorería actualizado (€)	-494.161	-484.003	-472.845	-461.686	-504.380	-494.222	-483.063	-471.905	-460.747	-450.589

Tabla 9.6: Flujos de tesorería a 20 años

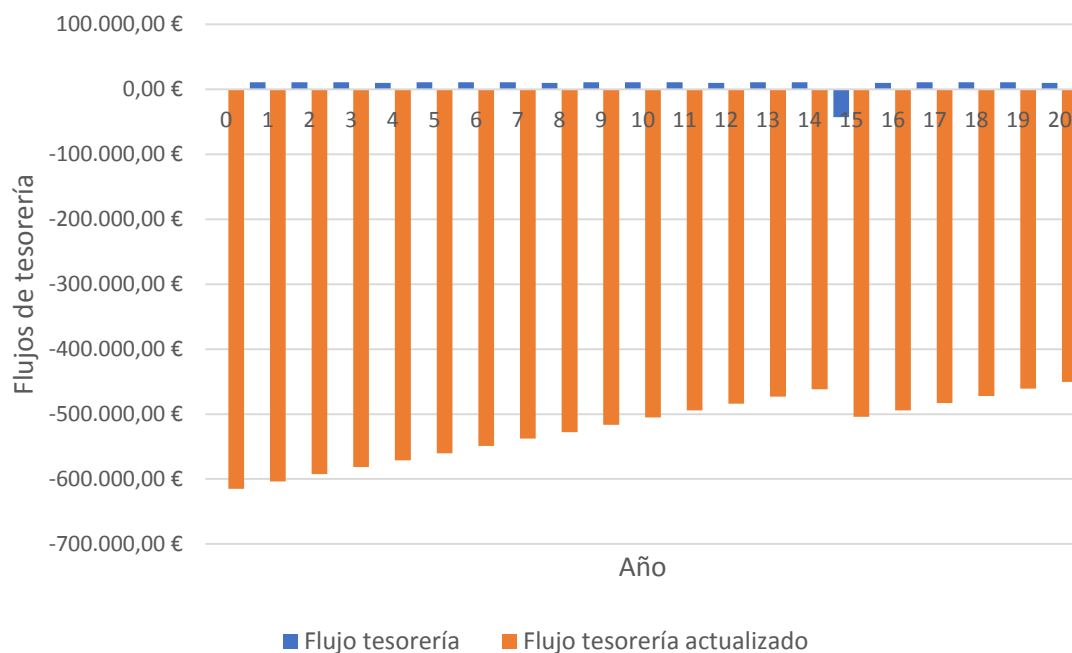


Figura 9.1: Gráfico de flujos de tesorería

Teniendo en cuenta una tasa de interés anual del 10%, los indicadores de evaluación económica son los siguientes:

Valor actualizado neto: VAN = - 534.631,46 €

Tasa interna de rentabilidad: TIR= - 11%

Periodo de retorno > 50 años

Se trata de unos valores que indican que la inversión no tiene ningún tipo de rentabilidad económica y con un riesgo muy elevado.

Los motivos que han llevado a obtener estos datos tan negativos son causados principalmente por la enorme inversión necesaria para la adquisición de los aerogeneradores. La compra de los 9 aerogeneradores necesarios para la generación de la demanda energética supone un gasto demasiado elevado.

Al presentarse el proyecto como una forma de generar ahorro económico en las arcas del Circuito de Castellolí, sin existir ningún otro interés prioritario para llevar a cabo la implantación de la instalación de energía eólica, se desaconseja invertir en el proyecto, pues supondría una deuda a largo plazo difícilmente de recuperar.

10. Conclusiones

La realización del estudio de viabilidad tecnológica y económica de la aplicación de la energía eólica en el Circuito de Castellolí, deja una serie de conclusiones que son interesante analizar.

Por un lado, el proyecto cumple varios de los requisitos marcados a su inicio, como son el hecho de poder cubrir el total de la demanda eléctrica para poder realizar una desconexión de la Red eléctrica y generar un impacto mínimo en el entorno. El disponer de unos terrenos de 95 Ha, alejados de núcleos urbanos, implica que el instalar un número elevado de aerogeneradores de grandes dimensiones no va a suponer un impacto relevante en el entorno ni en la reducción de superficie disponible para el desarrollo de actividades deportivas o de motor en el complejo.

Tras los cálculos de producción energética que van a generar cada uno de los aerogeneradores y concretar las unidades que deberán instalarse, se ha procedido a calcular los costes de inversión necesarios para su adquisición. El valor elevado que supone, conlleva que la viabilidad económica de la instalación de generación eólica en el Circuito de Castellolí sea nula, ya que supondría una deuda que no sería posible recuperar en el tiempo.

El principal motivo que descarta la viabilidad del proyecto es la producción energética que produce cada uno de los aerogeneradores si se compara con su precio. Si la energía generada fuera mayor, se precisaría de menos dispositivos y, por tanto, también de unos costes de inversión menores que sí podrían asegurar una rentabilidad económica y el retorno de la inversión realizada.

Pese que se trata de un emplazamiento idóneo si se habla de espacio para la habilitación de aerogeneradores y del impacto que tienen en el entorno, las condiciones de viento que se dan están muy lejos de poder producir unos valores de evaluación económica positivos

Finalmente, quiere realizarse una recomendación. En la actualidad, muchas instalaciones aisladas de la Red eléctrica utilizan sistemas híbridos compuestos por generación fotovoltaica más generación eólica. En el caso que se planteara esta opción, la rentabilidad que se obtendría con el conjunto, también se vería afectada por la nula seguridad que supone el invertir en la generación de energía eólica en el Circuito de Castellolí.

Por tanto, se desaconseja en cualquier caso la idea de la aplicación de energía eólica en el emplazamiento.

11. Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] GWEC, Global Wind Energy Council. [<http://gwec.net>, 03/04/2018]
- [2] AEE, Asociación empresarial eólica. [<https://www.aeeolica.org>, 03/04/2018]
- [3] IGN, Instituto Geográfico Nacional. [<http://www.ign.es/web/ign/portal>, 11/04/2018]
- [4] Sede electrónica del Catastro. [<https://www1.sedecatastro.gob.es>, 11/04/2018]
- [5] Agencia andaluza de la energía. [<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es>, 22/04/2018]
- [6] Atlas eólico del IDAE. [<http://atlaseolico.idae.es/>, 04/04/2018]
- [7] Catalogo Europeo Aerogeneradores.
[http://www.urbanwind.net/pdf/CATALOGUE_V2.pdf, 05/05/2018]
- [8] Aerogenerador ENAIR E200. [<https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200>, 06/05/2018]
- [9] Lucera. [<https://lucera.es/blog/desconectarse-red-electrica-autoconsumo>, 11/04/2018]
- [10] Autosolar. [<https://autosolar.es>, 11/05/2018]
- [11] Real Decreto 900/2015, 9 de octubre.
[<https://boe.es/boe/dias/2015/10/10/pdfs/BOE-A-2015-10927.pdf>]
- [12] Ley 16/2002, de 28 de junio.
[<https://www.boe.es/boe/dias/2002/07/25/pdfs/A27465-27481.pdf>]
- [13] Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón [<http://calcarbono.-servicios4.aragon.es/>, 01/06/2018]

Bibliografía complementaria

Escudero López, José María. *Manual de energía eólica*, Mundi-Prensa, 2003.

Lecuona Neumann, Antonio. *La energía eólica: Principios básicos y tecnología*, Universidad Carlos III de Madrid, 2002.

Herrero Novoa, Cristina. *Estudio de la velocidad del viento: análisis espacial y ajuste a una función de distribución*, Universidad de Valladolid, 2016.

Doleschek, Anja; Lehmann, Harry; Peter, Stefan; Puig, Josep. *Catalunya Solar*, Fundació Terra, 2007.

Factoría de Ingenieros [<https://www.factoriadeingenieros.com/efecto-coriolis/>, 23/02/2018]

Todo Circuito [<https://www.todocircuito.com/reportajes/25-circuito-parcmotor-castelloli.html>, 08/06/2018]

Windy Grig [http://www.windygrid.org/Variabilidad_Produccion_Eolica_en_Espana.pdf, 06/04/2018]

Danish Wind Industry Association [<http://xn--drmsttre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/index.htm>, 06/04/2018]

Comparador de Luz [<https://comparadorluz.com/faq/tarifas-electricas/30>, 11/04/2018]

Instalación eólica aislada [<https://www.youtube.com/watch?v=C6r7zzaJbFY>]

Catálogo de Aerogeneradores Bornay [<https://www.bornay.com/>, 05/05/2018]

Catálogo de Aerogeneradores ENAIR [<https://www.enair.es>, 05/05/2018]

Catálogo de Aerogeneradores WindSpot [<http://www.windspot.es>, 05/05/2018]

Wind Turbine Models [<https://en.wind-turbine-models.com>, 05/05/2018]

Solar Rocket [<http://www.dsrocket.com/que-tipo-de-bateria-necesitas-para-instalacion-fotovoltaica/>, 11/05/2018]

Bibliografía complementaria

Tu tienda energética [https://www.tutiendaenergetica.es/blog/53_como-escoger-bateria-solar-placas]

Catálogo de baterías Distribuidora Autosolar [<https://autosolar.es/baterías>, 11/05/2018]

Orden ETU/35/2017 [<https://www.boe.es/boe/dias/2018/01/30/pdfs/BOE-A-2018-1197.pdf>]

Solartradex [<http://solartradex.com/blog/10-claves-para-entender-el-real-decreto-de-autoconsumo/>, 01/06/2018]

Energías renovables info [<http://www.energiasrenovablesinfo.com/eolica/impacto-medioambiental-energia-eolica/>, 01/06/2018]

Ministerio de agricultura, pesca y alimentación [<http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx>, 08/6/2018]

